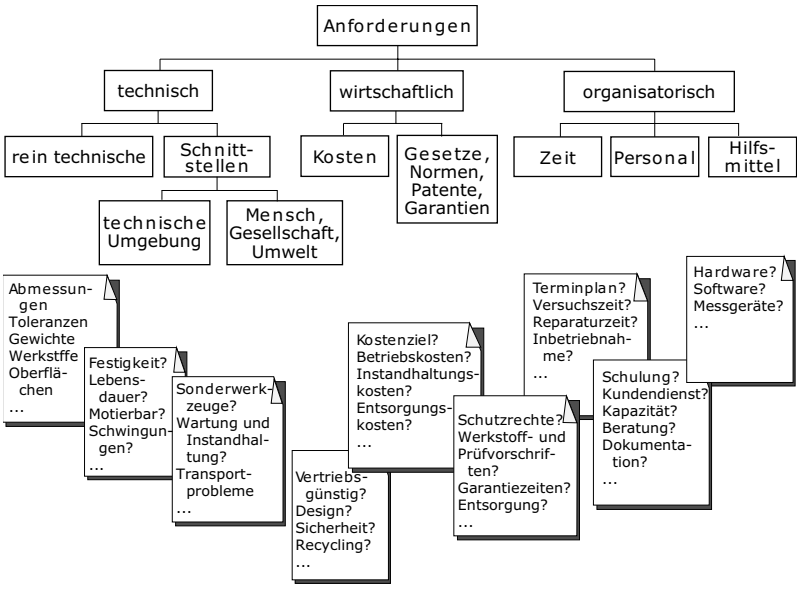
Der Innovations-Prozess

2. Teil

Autor: Prof. Dr. Markus Meier
WS 2004–05



Der Innovations-Prozess 2. Teil

Moderation 1
Überblick 3
Präsentation, Informationssitzung, Besprechung oder Moderation – eine Abgrenzung 5
- Präsentation, Vortrag, Informationsveranstaltung 5
- Informationssitzung (Koordinationssitzung) 5
- Komplexe Problemstellungen erarbeiten 7

Moderation 9
- Vorbereitung 10
- Werkzeuge 14
- Ablauf einer Moderation 16
- Arbeitsformen des moderierten Workshops 31
- Moderation mit IT-Unterstützung 31
- Funktion der Moderierenden 33
- Regeln und Hinweise für eine erfolgreiche Moderation 34

Zusammenfassung 35

Konzept-Prozess 1
Überblick 3
- Bedeutung des Konzept-Prozesses 10
- Intuitive und diskursive Problemlösung 12
- Divergenz und Konvergenz beim Konzipieren 14
- Teilprozesse, Produktmodelle 15
- Strukturieren des Produkts 20
- Realer Konzept-Prozess 21

Projekt-Definition 22
- Anforderungliste 23
- Projekt, Projektplanung 30
- Kommunikationskonzept 42

Funktionsgliederung 44
- Bedeutung einer Funktionsmodellierung 44
- Produktfunktionen und ihre Darstellung 46
- Funktion und Verhalten 48
- Gesamtfunktion, Teilfunktionen und Funktionsstruktur 50
- Funktionen beschreiben 53
- Funktionsstrukturen erarbeiten 62
- Hinweise zum Arbeiten mit Funktionen 65

Lösungsfindung 66
- Auf vorhandene Lösungen zugreifen 66
- Intuitive Lösungsfindung 81
- Lösungen durch systematische Variation 87

Prinzipielle Gesamtlösungen 107
- Teillösungen den Teilfunktionen zuordnen 107
- Teillösungen kombinieren 109
- Varianten darstellen 110
- Variantenflut beherrschen 111
- Aussichtsreiche konzeptionelle Gesamtlösungen 117

Gesamtlösungen konkretisieren 118
- Ziel der Konkretisierung 118
- Methoden zur Konkretisierung 120

Beurteilen von Varianten 129
- Auswahl von Varianten 130
- Bewerten von Varianten 132
- Überprüfen und Entscheiden 149

Zusammenfassung 152

Entwurfsprozess **1**
Überblick 3
Verschiedene Aspekte des Entwurfsprozesses 6
- Eingliederung und Zielsetzung 6
- Gestaltungsprozess im Entwurfsprozess 7
- Idealer Entwurfsprozess 8
- Output des Entwurfsprozesses 11
- CAD im Entwurfsprozess 11
- Realer Entwicklungsprozess 14

Das Gestaltungsobjekt und seine Eigenschaften 15
Bedeutung der Anforderungen 17
Strategien des Gestaltens 19
- Modulgenerierung 19
- Bauraumaufteilung und Hüllelement 23
- Strategien der Konkretisierung 25

Basishandlungen des Gestaltens 27
- Informieren und abgrenzen 27
- Generieren und variieren 28
- Analysieren und validieren 33
- Bewerten und entscheiden 42

Regeln, Prinzipien und Richtlinien des Gestaltens 44
- Regeln des Gestaltens 44
- Prinzipien des Gestaltens 54
- Prinzip der Kraftleitung (Kraftfluss) 62
- Gestaltungsrichtlinien (design-for-x) 76

Management und Methoden im Entwurfsprozess 78
Dokumentation des Entwurfsprozesses 82
Zusammenfassung 83

Moderation

Autor: Prof. Dr. Markus Meier

1. Überblick

Motivation – Bierdosen-Verpacker

Der Projektleiter für eine Maschinen-Neuentwicklung zum Verpacken von Bierdosen in Schachteln steckt mitten in der Konzeptphase und sucht Lösungsmöglichkeiten für die Problemstellung.

Mit Kollegen aus dem Marketing und der Konstruktion wurden schon viele gute Ideen generiert und man ist überzeugt, die beste Lösung gefunden zu haben; alle gestellten Anforderungen sind damit erfüllbar. Während der Präsentation der Lösung vor der Geschäftsleitung ergeben sich grosse Diskussionen und man kommt zum Schluss, dass noch weitere Varianten gesucht und beurteilt werden müssen. Was ist schief gelaufen? Hätte dies verhindert werden können?

Lernziele

Die Studierenden

- erkennen den Unterschied zwischen einer Präsentation, einer Sitzung und einer moderierten Besprechung bzw. einem Workshop.
- verstehen die Moderation als ganzheitliches Werkzeug zum Bearbeiten vernetzter Problemstellungen und können die Teilschritte ausführen:
  - Vorbereiten
  - Einsteigen
  - Sammeln
  - Strukturieren
  - Bewerten
  - Präsentieren
  - Massnahmen festlegen
  - Abschliessen, Protokollieren
- kennen die Werkzeuge der Moderation, können sie einordnen und erklären. Sie können abschätzen, wann der Einsatz einer bestimmten Methode sinnvoll ist.
- können einige wichtige Verhaltensregeln der Moderation aufzählen.
- sind in der Lage einfache Moderationen in der Gruppe durchzuführen.

Einleitung

Innerhalb komplexer, stark vernetzter Problemstellungen muss eine Vielzahl vorerst ungeordneter Themenbereiche und eine Vielzahl von Interessen berücksichtigt werden.

Schnell verliert man sich in einem Wirrwarr von vermeintlich identisch wichtigen Aspekten und läuft in Gefahr sich einseitig zu konzentrieren oder wesentliche Komplexe zu vergessen.

Die Moderationstechnik bietet Methoden und strukturierte Arbeitsweisen, um sich in solchen Situationen gezielt und sicher, vor allem aber unter Integration aller Beteiligter, dem Ziel zu nähern. Die Methodik eignet sich sowohl für Managementaufgaben wie Strategieerarbeitung, Prozessoptimierungen als auch, wie in unserem Fall, für anspruchsvolle Entwicklungsprozesse.

Die gesamte Methodik ist auf einzelnen kleineren Teilmethoden aufgebaut, welche problembezogen, entsprechend einem Baukastensystem, ein Drehbuch für geplante Sitzungen oder Klausuren bzw. Workshops bilden.

Bild (B001modZ) Besprechungsmoderation (Seifert)

2. Präsentation, Informationssitzung, Besprechung oder Moderation – eine Abgrenzung

Im industriellen Alltag ist es aus verschiedensten Gründen notwendig sich regelmässig zu treffen und miteinander zu kommunizieren. So unterschiedlich die Bedürfnisse und Ziele solcher Treffen sind, so stark differieren auch die angewandten Methoden. Abhängig von der Situation eignen sich verschiedene Methoden dafür:

- Präsentation, Vortrag, Informationsveranstaltung
- Informationssitzung, Koordinationssitzung
- Moderation

2.1. Präsentation, Vortrag, Informationsveranstaltung

Das Ziel einer Präsentation bzw. eines Vortrages besteht darin, das Wissen der Vortragenden auf die Teilnehmer zu übertragen. Die Interaktion zwischen den „Sendenden" und den „Empfangenden" ist jedoch eingeschränkt und einseitig, indem z.B. lediglich am Ende des Vortrages einige Minuten für Fragen oder Diskussionen geplant ist.

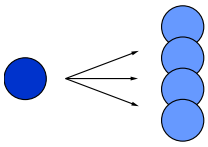


Bild (B002modZ) Informationsfluss beim Vortrag

2.2. Informationssitzung (Koordinationssitzung)

Wie es der Namen sagt, dient eine Informationssitzung zum gegenseitigen informieren. Abstrakt gesprochen geht es darum, die Elemente von Informationen verschiedener Teilnehmer zu sammeln und ein Gesamtbild zu erstellen.

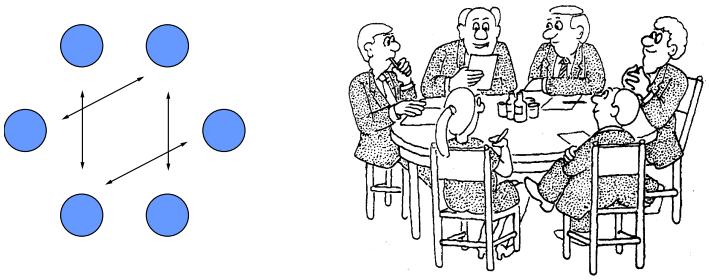


Bild (B003modZ) Informationsfluss in der Besprechung

Dabei geht es nicht darum (oder nur in kleinem Masse) neue Erkenntnisse oder Wissen zu generieren (siehe Moderation), sondern sich lediglich gegenseitig „ins Bild zu setzen".

Angewendet wird die Informationssitzung z. B. zwischen dem Projektleiter eines Kundenauftrages und dem Bereichsleiter der Technik, der Fertigung, der Montage und erfolgt zu festgelegten Zeitpunkten z. B. "Montag-Morgen-Sitzung". Der Stand der einzelnen "Arbeitspakete wird durch den Projektleiter abgefragt und koordiniert. Die einzelnen Stellen informieren über den Stand, die noch bestehenden Probleme und Terminierungen.

Solche Sitzungen werden dann ineffizient, wenn versucht wird, neben dem Informieren und Koordinieren auch grössere Probleme "am Tisch" zu lösen. Schnell artet dies zu einem unstrukturierten, ziellosen Gespräch aus und frustriert die Sitzungsteilnehmer. In solchen Fällen bewahrheitet sich der Spruch "eine Sitzung ist ein Anlass, wo viele hingehen und wenig herauskommt".

Problemfelder, die in solchen Situationen vorliegen, sind:

- lange, unstrukturierte Diskussionen, die vom Thema abweichen
- lange Monologe
- nicht ausreden lassen
- unklare Ziele
- Dominanz einzelner, mangelnde Integration anderer
- unterschiedlicher Wissensstand
- persönliche, nicht sachbezogene Angriffe
- schlechte Gesprächsleitung

Um diese Gefahren generell zu verhindern gilt:
Merke: keine Sitzung ohne vorher festgelegte Ziele und Traktanden.

2.3. Komplexe Problemstellungen erarbeiten

Bei vielen Problemstellungen muss z. B.:

- das Wissen unterschiedlicher Akteure, Disziplinen gleichermassen integriert werden
- die Lösung die Ziele verschiedener Bedürfnisse erfüllen
- berücksichtigt werden, dass die Umsetzung mehrere Personen betrifft
- die Lösung von den Betroffenen nachhaltig getragen werden

Typische Problemfelder dieser Art sind:

- Prozessverbesserungen in Unternehmen
- Erarbeiten von Strategien
- Implementierung übergeordneter IT-Projekte
- Innovationsprojekte.

Solche vernetzte und komplexe Problemstellungen können mit unterschiedlichen Lösungsmethoden angegangen werden.

- Problemlösung durch Einzelperson:
  Wir betrauen eine Person mit dem Problem, welche die Lösung selbständig erarbeitet und anschliessend präsentiert. Während der Bearbeitung konsultiert diese Person entsprechende Fachstellen, holt sich dort die notwendigen Informationen und verarbeitet diese zu einer eigenen Lösung.
  Diese Arbeitsweise hat den Nachteil, dass die Lösung nicht gemeinsam erarbeitet wurde und die „Betroffenen" nur konsultiert wurden. Damit wird die Lösung häufig nicht nachhaltig von allen getragen. Empfohlen ist diese Form der Problemlösung, wenn
  - der Lösungsweg vorgezeichnet ist,
  - die Arbeit in der Detaillierung liegt.
- Problemlösung durch moderierte Besprechung (Moderation):
  Zur Bewältigung von grösseren Fragestellungen oder Problemkomplexen suchen wir eine Arbeitsmethodik, die es einer Gruppe von Personen ermöglicht, zielgerichtet unter Einbindung aller Beteiligten, zu kommunizieren und zu arbeiten bzw. Probleme zu lösen. Die Moderationstechnik bietet dazu eine Vielzahl von Methodenfragmenten, welche in einer moderierten Sitzung (kurz: Moderation) kombiniert aus einer „Werkzeugkiste" angewendet werden.

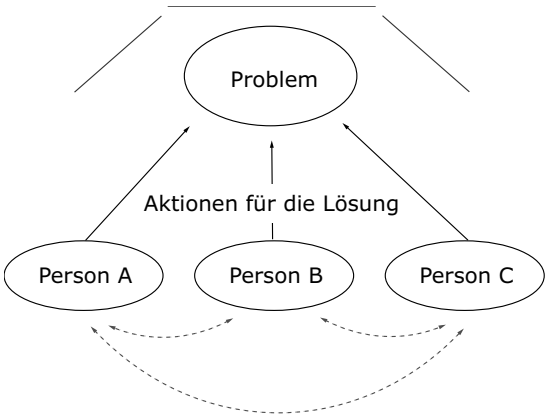


Bild (B004modZ) Grundprinzip der Moderation

Bild (B099modZ) Szene aus einer Moderation

3. Moderation

Im Folgenden werden die wichtigsten Punkte der Moderationstechnik und die wichtigsten Teilmethoden vorgestellt.

Im Zentrum der Moderation steht die gemeinsame Arbeit und Diskussion innerhalb der Gruppe und die zentrale Visualisierung. Alle Beteiligten konzentrieren sich auf das eigentliche Problem und auf den aktuellen, visualisierten Stand des Arbeitsfortschritts.

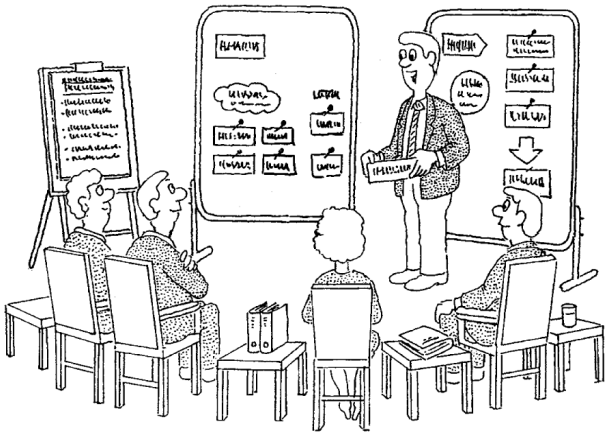


Bild (B005modZ) Typische Sitzordnung innerhalb einer Moderation ohne Arbeitstisch

Die Moderationssitzung erfolgt abwechselnd in einem Plenum oder aber verteilt auf mehrere Gruppen (Gruppenarbeit).

Bild (B098modZ) Grössere Anzahl von Teilnehmenden im Plenum

Bild (B097modZ) Arbeit in mehreren Gruppen

3.1. Vorbereitung

Die Regel schon vorweg: „Was wir bei der Vorbereitung einer Moderation vermeintlich an Zeit einsparen, wird uns in der Sitzung ein Mehrfaches an Zeit kosten."

Mit der Vorbereitung ist in der Regel der Moderator, bzw. die Moderatorin betraut. Diese Person koordiniert und leitet die geplante Besprechung oder Klausur und kann sowohl eine interne als auch externe Person sein. Sie ist in der Lage eine Gruppe von Personen zu integrieren und zum Ziel zu begleiten. Auch verfügt sie über das notwendige methodische Wissen von Moderation.

Früher war der bzw. die Sitzungsleitende durch die Hierarchie bestimmt; die heutigen Faktoren für eine Sitzungsleitung liegen jedoch in der Sozialkompetenz und Methodenkompetenz der auszuwählenden Person, so dass sie die richtigen Methoden einsetzt, die zwischenmenschlichen Prozesse erkennt, welche in einem Meeting ablaufen können und entsprechend die Sitzung steuert. Die Moderationsleitung kann bei schon geübten Teilnehmenden innerhalb einer Besprechung auch von einem Mitglied zum anderen übergeben werden.

3.1.1. Problemstellung

Gemeinsam mit dem Auftraggeber (u.U. Vorgesetzte oder Geschäftsleitung) sind durch den Moderator die folgenden Punkte für den Start eines Projektes intensiv zu besprechen und festzuhalten:

Ziel	Was ist das Ziel der Problemstellung? • Hauptziel • Nebenziel(e)
Input	Welche Inputs, Vorarbeiten sind vorhanden? Welche Unterlagen sind zu sammeln?
Ouput	Welche Resultate werden erwartet? Was sind die Messgrössen des Erfolges? • Funktion • Qualität • Kosten • Zeit • ...
Ressourcen, Rahmenbedingungen	Welche Ressourcen sind bereitgestellt? • Personal (Kompetenz, wie viel %) • Finanzen • Zeit • Rahmenbedingunen
Rahmenbedingungen, Hürden	Besteht Unterstützung von allen Personen? • Verantwortlichen • Beteiligten • Betroffenen Welche Bedenken / Widerstände sind bekannt oder werden erwartet?

Tabelle (T001modZ) Punkte für den Start eines Projektes

Dieser erste Teil der Vorbereitung, die inhaltliche Vorbereitung, bildet die Basis der zukünftigen Besprechung. Schon in der Vorbereitung lohnt es sich häufig im Gespräch mit den "Auftraggebern" die inhaltliche Definition strukturiert und systematisch zu erarbeiten.

Eine mögliche Teilmethode dazu ist die Kleeblatt-Methode: auf einem Flipchart oder Pinwand-Plakat wird grossformatig stilisiert die Form eines Kleeblatts gezeichnet, vorerst noch ohne Inhalt aber mit klar zugeordneten Feldern. Zum Beispiel ist das linke Kleeblatt reserviert für Input-Informationen.

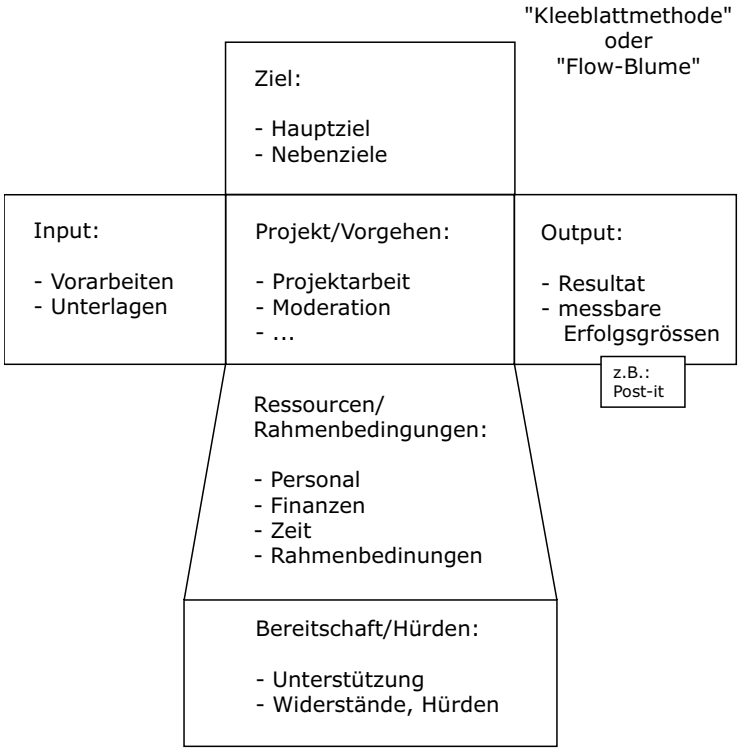


Bild (B006modZ) Auslegeordnung mit Flipchart

Im intensiven Gespräch werden die einzelnen Felder nun gemeinsam mit konkreten Inhalten gefüllt (siehe auch Bild B097modZ). Als weiteres Hilfsmittel können die Notizen auch indirekt auf z.B. Post-it-Zettel geschrieben werden und den entsprechenden Feldern zugeordnet und aufgeklebt werden. Ausgezeichnet erkennt man hier den Vorteil der Visualisierung. Immer ist das Gesagte präsent, ist verbindlich und hilft den Überblick zu wahren.

3.1.2. Organisation

In einem zweiten Schritt muss die organisatorische Vorbereitung mit folgenden Punkten erfolgen:

- Teilnehmerzahl:
  Laden Sie an die Sitzung nur so viele Personen wie notwendig ein und wählen Sie die Teilnehmer sorgfältig aus,
  - die das nötige Fachwissen für die Problemlösung mitbringen,
  - die das Potential zu positiven Beiträgen haben und
  - die von der Lösung betroffen sind.

Die Anzahl bewegt sich, je nach Problemstellung, zwischen 6 und 30 Personen.

- Ort:
  Es lohnt sich, einen Ort auszuwählen, wo die Teilnehmenden vom täglichen Geschäft losgelöst sind und sich entspannt fühlen können. Bei der Auswahl der Räume wird Wert darauf gelegt, dass diese grosszügig bemessen sind und so den Teilnehmenden Bewegungsfreiheit ermöglichen.
- Einladung:
  Die Einladung soll frühzeitig an die Teilnehmer und Teilnehmerinnen verschickt werden und muss folgende Informationen enthalten:
  - Datum, Zeit, Dauer
  - Ort
  - Teilnehmerliste, Moderationsleitung
  - Hauptziel des Meetings, Nebenziele
  - Geplanter Ablauf
  - Vorbereitungsarbeiten für die Teilnehmenden

Als administrative Vorbereitungsaufgabe muss an die Vorbereitung der Räumlichkeit, Bestuhlung, Auswahl und Bestellung von Mahlzeiten und Kaffeepausen, technische Einrichtungen mit Moderationsmaterial etc. gedacht werden. Wenn zu Beginn des Meetings die Stühle noch umplatziert werden müssen oder mehrere Personen versuchen, das Videogerät in Betrieb zu nehmen usw., so wirkt dies für alle Teilnehmer unprofessionell.

Heutige komplexe Problemstellungen erfordern meistens, dass sich die Teilnehmenden im Voraus mit den Fragen auseinandersetzen. Einzelne Teilnehmer erhalten sogar konkrete Aufgaben zur intensiven persönlichen Vorbereitung. Der Moderator stellt in der Einladung die zu leistenden Vorarbeiten schriftlich zusammen und schickt diese mit den notwendigen Informationen und Unterlagen frühzeitig an alle Teilnehmer.

3.2. Werkzeuge

Charakteristisch für die Moderationstechnik ist das verwendete Arbeitsmaterial. Die Visualisierung des gesamten Prozesses steht im Zentrum der Methode, d. h. Gesagtes, Beschlossenes, offene Punkte usw. werden dynamisch erfasst und systematisch für alle sichtbar gemacht, denn:

- Gesprochenes ist flüchtig. Visualisierung hält das Gesagte verfügbar;
- Visualisierung präzisiert die Information, vermeidet Missverständnisse und erhöht die Verbindlichkeit;
- Visualisierung fokussiert auf das Thema und vermeidet ungerichtete Arbeitsweisen und ermöglicht einen dynamischen Aufbau des Lösungsweges;
- Visualisierung steigert den Überblick und die Identifikation.

Für die Visualisierung kann man sich jederzeit improvisierter Werkzeuge bedienen, um eine erfolgreiche Sitzung zu erzielen. Hilfreich sind aber eine Reihe von professionellen Werkzeugen.

Pinwände, Packpapier und Moderationskarten

Pinwände sind Korkplatten auf Ständern mit Massen von etwa 120x150 cm, die meist mit Filz überzogen sind. Für eine Moderation sollten rund 4 Wände (bzw. mehr) zur Verfügung stehen.

Bild (B096modZ) Pinwand

Die Pinwand wird mit Packpapier als Schreibgrundlage überzogen (Pinwand-Plakat). Oder es werden direkt auf ihr Moderationskarten aufgepint.: Hierzu existiert eine Vielzahl von Kartentypen in den verschiedensten Formen und Farben (weitere Informationen über den gezielten Einsatz finden sich in der Fachliteratur).

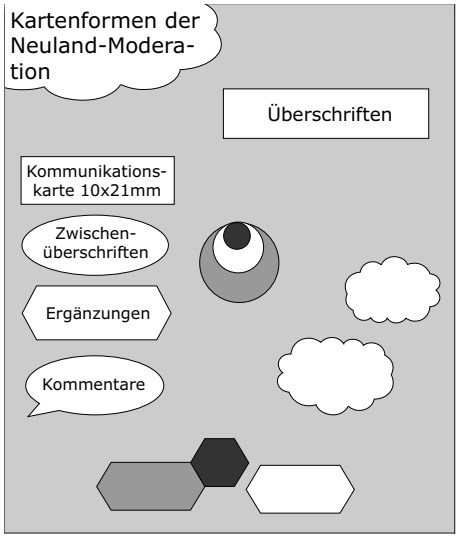


Bild (B007modZ) Pinwandmit Moderationskarten

Moderationskoffer

Ein handelsüblicher Moderationskoffer enthält alle Werkzeuge (Karten, Nadeln, Stifte) übersichtlich geordnet und jederzeit greifbar.

Bild (B008modZ) Moderationsmaterial in Moderationskoffer
(Quelle: http://www.ultradex.de; http://www.neuland.ch/)

Weitere Hilfsmittel

zu den weiteren konventionellen Hilfsmitteln zählen:

- Flipcharts
- Tafeln, Smartboards
- Hellraumprojektoren, Beamer.

3.3. Ablauf einer Moderation

Moderierte Besprechungen oder Klausuren sind im Gesamten, aber auch innerhalb der Teilprobleme, immer ähnlich strukturiert.

1. Einsteigen	Gute Ausgangslage schaffen, Teilnehmer psychisch in die Arbeits- und Denkumgebung bringen und positiv stimmen. Regeln festlegen
2. Informieren:	Alle Teilnehmer auf einen notwendigen gemeinsamen Wissensstand bringen. Rahmenbedingungen und Ziele, soweit diese nicht in der Gruppe erarbeitet werden sollen, darlegen. Falls es sich um Problemstellungen handelt, welche weit in die Zukunft reichen, müssen die Teilnehmer geistig von der Gegenwart weg bewegt werden.
3. Sammeln	Gemeinsam Informationen, Ideen zur Problemstellung sammeln
4. Strukturieren	Die Ideen werden gemeinsam strukturiert und geordnet. Die Ordnung dient dazu, Teilthemen zur weiteren Ausarbeitung zu kristallisieren
5. Bewerten	Die Teilthemen (oder Einzelbeiträge) werden gemeinsam bewertet. Damit werden Prioritäten für die weitere Bearbeitung gesetzt.
6. Bearbeiten	Die favorisierten Teilthemen werden, meist in Gruppenarbeit, vertieft bearbeitet.
7. Präsentieren	Die Gruppenarbeiten werden präsentiert und weiter vertieft. Das Ziel liegt darin, aus den einzelnen Präsentationen die wesentlichen Punkte zu selektieren, die Ideen zu konsolidieren und daraus einen Massnahmenplan zu erarbeiten.
8. Massnahmen festlegen	Parallel zu den einzelnen Schritten bzw. gegen Ende des Workshops, werden die Massnahmen (Tätigkeitenliste, weiteres Vorgehen, to do´s) festgelegt und grob geplant mit Termin und Verantwortlichkeit.
9. Reflexion, Abschluss, Protokoll	Analog dem Eintritt in die Moderation soll auch das Ende positiv gestaltet werden. Dazu können Stimmungsbilder aufgefangen werden. Abschliessend wird das Protokoll erstellt.

Tabelle (T002modZ) Ablauf einer Moderation

Genauso wichtig wie die organisatorische ist die methodische Vorbereitung. Eine intensive methodische Vorbereitung kann am Meeting den Anschein erwecken, dass die Problemstellung spielerisch und sozusagen automatisch in Richtung der Lösung übergeht. Um das zu erreichen, überlegt sich der/die Moderierende den Verlauf des Meetings sehr genau, wie z. B.:

- Gestaltung des Einstiegs
- Vorstellung der Teilnehmer und Teilnehmerinnen (falls notwendig)
- Abstimmung des Gesamtzieles, der Teilziele
- Bearbeitung der Einzelthemen und Setzen der Prioritäten
- Massnahmenplanung
- Gestaltung des Abschlusses (Drehbuch).

Empfehlenswert ist das konzeptionelle Vorbereiten der Pinwände. Ein erfahrener Moderator hat die Gliederung der Wände für die verschiedenen Phasen des Meetings im Kopf. Methodisch falsch wäre es, die Wände schon gestalterisch vorzubereiten, denn der Kern der Moderation liegt im gemeinsamen Erarbeiten der Visualisierung (erzielt eine viel höhere Akzeptanz). Damit ist eigentlich die schwierigste Aufgabe in der professionellen Moderation dargelegt: Einerseits soll die Methodik gut vorbereitet sein, andererseits soll die Gruppendynamik genutzt werden. Vielfach läuft die Gruppe in eine Richtung, welche methodisch nicht geplant ist. Hier gilt es, als Moderator jederzeit die Situation zu erkennen, während der Sitzung voraus zu denken, die vorbereitete Methodik kurzfristig zu aktualisieren und trotzdem zielsicher vorzugehen.

Zu jedem Teilschritt der Moderation existieren nützliche Teilmethoden, welche im folgenden Überblick vorgestellt werden.

3.3.1. Einsteigen

Physische Präsenz bedeutet nicht automatisch auch geistige Aufmerksamkeit. Ein Spiel am Anfang wärmt einerseits die Stimmung auf und fördert andererseits die Konzentration der Anwesenden. Aus dem reichhaltigen Angebot solcher Einstiegsmöglichkeiten sollen die folgenden vorgestellt werden:

- Bild-Person-Identifikation
  Bereiten Sie Bildpostkarten mit verschiedensten Motiven vor, und zwar rund doppelt so viele wie die Anzahl der Teilnehmer. Nun muss jeder persönlich eine Karte auswählen, die am besten zu seinem Typ passt. In einer zweiten Runde stellen sich nun die einzelnen Personen vor und ergänzen locker die Vorstellung mit einer Erklärung, inwiefern die Karte für sie gut passt. Auch

sollen sich die Teilnehmer äussern, was sie von diesem Meeting erwarten. Dieses Spiel startet von der emotionalen Ebene aus und eignet sich besonders, wenn die Personen sich nicht kennen.

- Moderations-Lotto
  Auch dies ist eine Variante für Teilnehmer, die sich noch nicht kennen und die Anonymität gelockert werden soll. Die Basis bildet das Lottoblatt mit einer Anzahl von (beliebigen) Fragen. Ein Beispiel ist unten abgebildet.
  Ablauf: Jeder Teilnehmer geht zu einer weiteren Person, stellt sich dort vor und stellt eine Frage aus dem Fragekatalog des Lottoblattes, auf die er eine entsprechende Antwort erhält. Nun stellt der Partner eine Gegenfrage. Anschliessend bewegen sich beide zu einer nächsten Person und führen bei ihr Frage und Gegenfrage durch. Die Fragen können allgemeine Themen betreffen oder schon z. B. Erwartungen an das Tagesresultat sein.
- Fünfziger-Ziel
  Dies ist eine Einstiegsvariante für Personen, die sich schon kennen und das Ziel darin besteht das Team zu stärken.
  Ablauf: Im Kreise herum wird versucht, die Zahl 50 zu erreichen, aber alle Zahlen mit einer 3 oder 4 beinhaltend oder durch 3 oder 4 teilbar bzw. die Quersumme 3 oder 4 haben, müssen ausgelassen werden: 1, 2, 5, 7, 10, 11, 17, ...

Erklärt Ihnen, was sie / er unter "Moderation" versteht	Erklärt Ihnen eine **positive** Erfahrung im Zusammenhang mit Moderation	Erklärt Ihnen eine **negative** Erfahrung im Zusammenhang mit Moderation		Beschreibt zwei wichtige Voraussetzungen für Moderation im Betrieb	Beschreibt, woran man innovative Leute erkennt (drei Merkmale)
	Beschreibt, wie sie / er Moderation im eigenen Bereich fördert	Erklärt, ob es für Innovation Querdenker, Spinner braucht und wie man sie einbettet	Beschreibt die grössten Innovations-Killer im Betrieb	Erklärt, was ihr / sein persönliches Lernziel für den heutigen Tag ist	Beschreibt das Betriebsklima in ihrem / seinem Betrieb (drei Merkmale)
Erzählt von den grössten Enttäuschungen, vom letzten Frust der letzten Zeit	Erzählt vom grössten Aufsteller, vom positiven Erlebnis der letzten Zeit		Erklärt, warum solche Tagungen wie heute nützlich sein können	Erklärt, ob Committment für Innovation mehr auf Zufall oder auf Systematik beruhen	
Erläutert, ob sie / er sich als moderative Persönlichkeit sieht (und warum)	Nennt zwei Massnahmen, durch die Moderation im Betrieb gefördert werden kann	Beschreibt die zwei für Moderation am besten geeigneten Personen in ihrer / seiner Umgebung	Erklärt Ihnen, warum Moderation wichtig sein kann		Beschreibt, wie sie / er die besten Workshops, Sitzungen hat (und warum)

Bild (B009modZ) Lottoblatt mit Fragen

Diese Beispiele erscheinen verspielt, erzielen aber immer einen positiven Effekt. Ein direkter Start in die eigentliche Arbeit erweist sich meistens als sehr schwierig und mit Rückschlägen behaftet.

Zu Beginn eines Meetings werden die Regeln festgehalten. Diese können folgendermassen lauten:

- Redezeit begrenzen
- ausreden lassen
- keine persönlichen Angriffe
- nur vom Thema reden
- usw.

Es existieren Methoden, um gewisse Regeln oder deren Verletzung durch Meta-Karten zu unterstützen bzw. zu verhindern, wie z. B.:

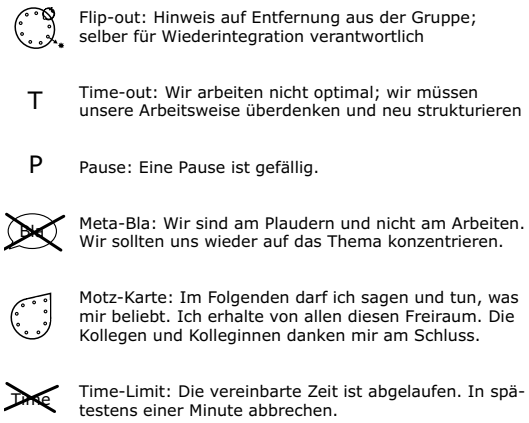


Bild (B010modZ) Sammlung von Meta-Karten

Diese Karten liegen griffbereit vor und jede Person kann sie nach Bedarf durch Aufzeigen aktivieren. Wenn z.B. ein Mitglied zu lange redet, kann ihn ein anderes mit der „Time-Limit-Karte“ darauf aufmerksam machen. Eine solche Kritikausübung brüskiert wesentlich weniger (weil sie vorher als Regel abgesprochen wurde), als eine ausgesprochene Kritik.

- Einpunkt-Abfrage
  Eine Teilmethode, welche hier aber auch an anderen Abschnitten eingesetzt werden kann, ist die 1-Punkt-Abfrage. Jede anwesende Person klebt einen Bewertungspunkt in die vorbereitete Beurteilungsmatrix oder Beurteilungslinie.

Beispiele sind:

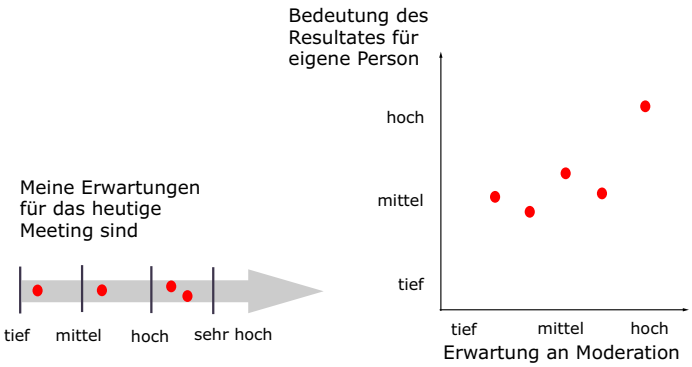


Bild (B011modZ) Einpunkt-Abfrage (ein- und zweidimensional)

Der Moderator erkennt während der Bewertung Stimmungsschwerpunkte (Gruppe, die in ähnlichem Feld liegt) oder „Ausreisser" (Personen, die sich ausserhalb der Schwerpunkte positionieren) und lässt die Gründe durch diese Personen kurz kommentieren.

3.3.2. Informieren

Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen kommen mit unterschiedlichstem Wissensstand und Zielvorstellungen. In diesem Teilschritt wird eine gute Ausgangsbasis gebildet. Konkret werden z. B. kurze Vorträge Einzelner eingeschoben, um deren Wissen an alle zu vermitteln und so Lücken auszufüllen oder ein externer Referent wird eingeladen, der das Thema von einer anderen Seite beleuchtet und externe Ideen einbringt.

Mit der Einladung wurden das Ziel und die einzelnen Traktanden mitgeteilt. Trotzdem ist es wichtig, basierend auf dieser Grundlage, nochmals darauf einzugehen (Verbesserung der Akzeptanz):

- Lang- und mittelfristige Ziele gemeinsam festlegen
  Welche Auswirkungen und Veränderungen sollen die Entscheidungen am Ende des Meetings bewirken? Was ist der übergeordnete Grund des Treffens?
  z. B. „Wir wollen eine neue Produktfamilie definieren, welche unserem Unternehmen ein zweites Standbein ermöglicht und die Unternehmensziele erfüllt …"
- Besprechungsziel erarbeiten

Welche Erwartungen haben wir an das Resultat des gesamten Meetings? Welche Ziele setzen wir uns zur konkreten Bearbeitung?
z. B.: „Wir wollen innerhalb des Meetings Möglichkeiten für neue Produktlinien sammeln und auflisten."

- Phasen gliedern und die Ziele dieser Phasen definieren
  Die vorbereiteten Traktanden nochmals in Frage stellen und eventuell besser gliedern: Die verschiedenen Phasen des Meetings definieren und die Teilziele der Phasen festlegen. Als Abschluss erhalten wir demnach einen von der ganzen Gruppe erarbeiteten Phasenplan.

Obschon sich der Moderator intensiv mit einem konkreten Phasenplan vorbereitet hat, kann es hier passieren, dass ad hoc umgestaltet werden muss. Viel Erfahrung ist notwendig, diese Flexibilität zu ermöglichen.

Das gesamte Meeting ist nun in einzelne Themenblöcke, Teilfragen gegliedert und diese Felder werden in einzelnen Zeitblöcken im Plenum oder durch Personengruppen bearbeitet. Die folgenden Teilprozesse werden somit zu mehreren Zeitpunkten hintereinander oder parallel eingesetzt.

3.3.3. Sammeln

Für jedes Teilthema müssen nun Lösungsideen, Aspekte, wichtige Punkte etc. gesammelt und gelistet werden. Dazu eignet sich die folgende Methode:

- Kartenabfrage:
  Vielfach geht es darum, Inputs, Ideen, Problemfelder etc. zu sammeln. Bei der dafür geeigneten Kartenabfrage schreiben entweder die Teilnehmer stichwortartig Meldungen auf oder rufen diese dem Moderator zu, der sie aufschreibt. So entsteht eine Sammlung von losen, locker aufgehängten Karten.
  Dabei steht immer die Visualisierung der Arbeit als informative Plattform im Zentrum.

Bild (B095modZ) Beispiel von Ideensammlung

3.3.4. Strukturieren

In diesem Schritt werden die ungeordneten Karten nach sinnverwandten Themen zu gemeinsam festgelegten Gruppentiteln (Themengruppen) geordnet. Die Thementitel der Cluster werden innerhalb der Moderation durch die Teilnehmenden vorgeschlagen (hohe Akzeptanz).

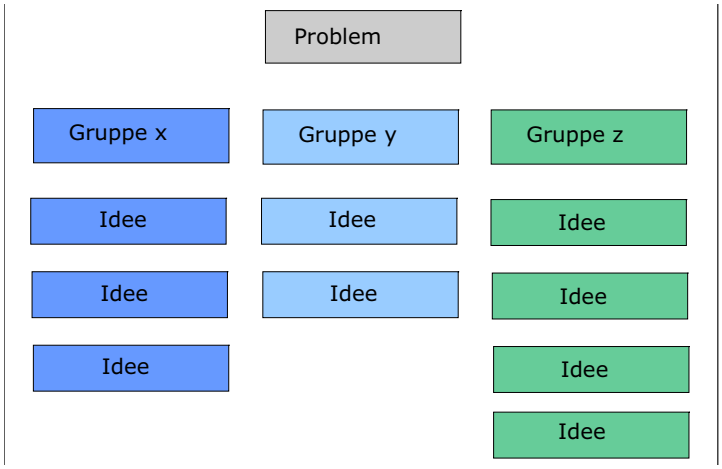


Bild (B013modZ) Visualisierung des Sammelprozesses und Strukturierung in Gruppen (Gruppe x, Gruppe y, …)

Eine weitere nützliche Methode in diesem Umfeld ist das Ursachen-Wirkungs-Diagramm. Visuell gleicht diese Methode einem Fischgrat. Vorerst steht die horizontale Linie und am Kopf das Problem bzw. die Fragestellung. Als Hauptgräte des Fisches gehen nun Ursachen-Hauptgruppen weg:

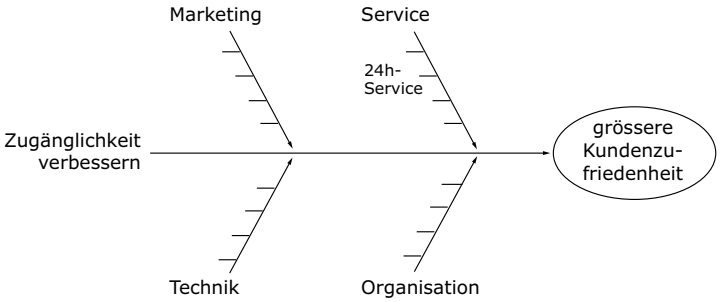


Bild (B014modZ) Ursachen-Wirkungs-Diagramm (Fishbone-Technik)

Dieselbe Aussagekraft besitzt auch das Netzbild:

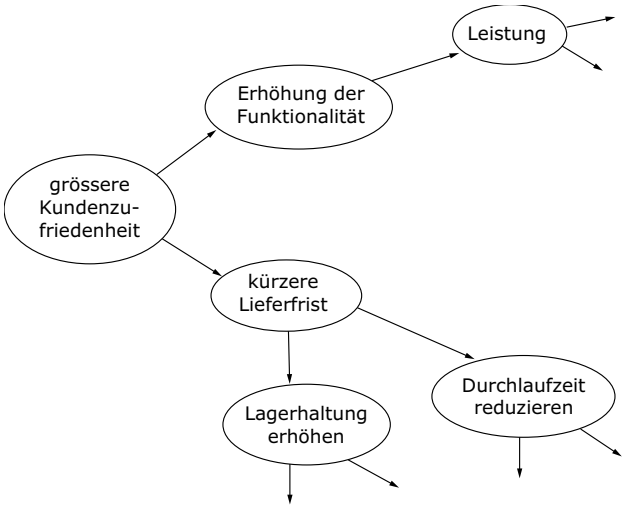


Bild (B015modZ) Netzbild von Ursachen und Wirkungen

Oder das Mindmap:

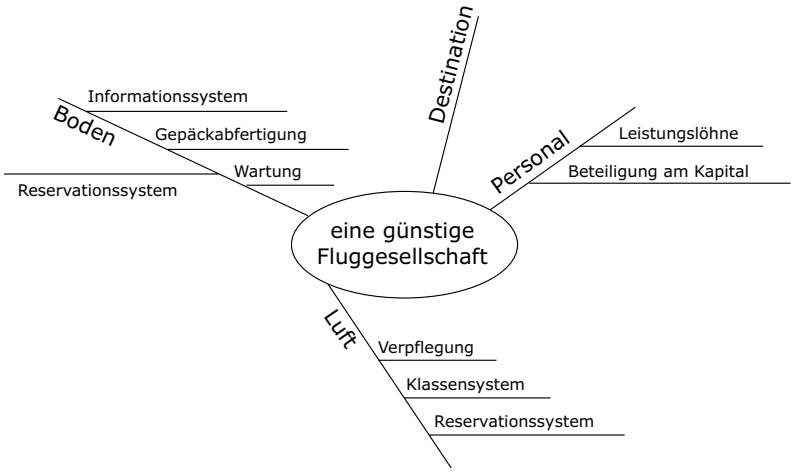


Bild (B094modZ) Darstellung als Mindmap

3.3.5. Bewerten

Vielfach sind nun viel mehr Ideen, wichtige als auch weniger wichtige gesammelt. Zu viele um alle zu vertiefen, Prioritäten müssen deshalb gesetzt werden.

Dazu eignet sich die Mehrpunkte-Abfrage: Jeder Teilnehmer und jede Teilnehmerin erhält halb so viele Punkte wie Bewertungsthemen vorliegen (grobe Empfehlung) und setzt die Punkte zu den Themen, welche ihr als besonders wichtig erscheinen, wobei maximal zwei Punkte pro Thema gesetzt werden dürfen.

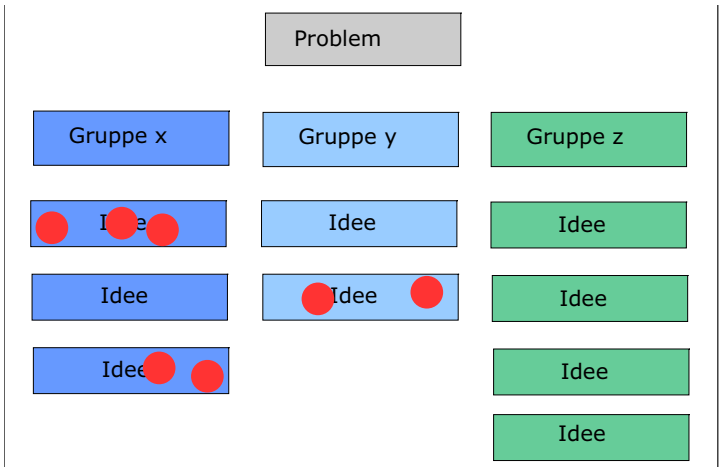


Bild (B016modZ) Mehrpunkte-Abfrage

Je nach Problemstellung kann die Bewertung natürlich auch auf der Themen-Gruppen-Ebene erfolgen.

Eine intensivere Bewertung der Themen kann mittels einer Nutzen-Aufwand-Matrix erfolgen.

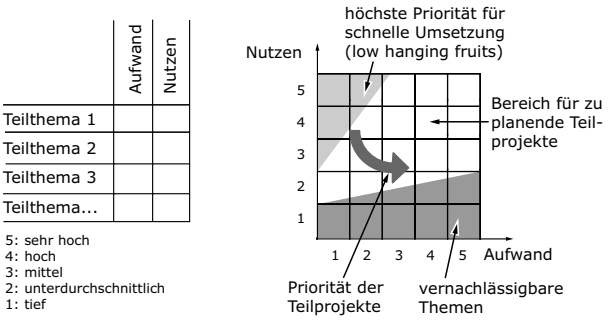


Bild (B017modZ) Mehrpunkte-Abfrage

Jedes einzelne Thema/Idee kann in die zwei Richtungen des notwendigen Aufwandes bzw. des erzielbaren Nutzens bewertet und in eine Matrix eingezeichnet werden. Die Lage der Themen in der Matrix hilft zur Beurteilung der Priorität.

3.3.6. Bearbeiten

Die auf die beschriebene Art favorisierten Themen können nun in Teilgruppen oder individuell weiter vertieft werden bzw. zu konkreten Lösungen geführt werden.

Um die Gruppenarbeiten zu harmonisieren ist ein Formblatt (Plakat) mit folgender beispielhaften Struktur geeignet.

Teilthema:
Worum geht es?
Mögliche Lösungsansätze:
Offene Fragestellungen:
Voraussetzungen:

Tabelle (T003modZ) Formblatt

Intensiv wird das Thema, wie immer visualisiert, gemeinsam bearbeitet.

Bild (B019modZ) Gemeinsame Bearbeitung in der Gruppe

Die Ergebnisse der Gruppenarbeit werden anschliessend vor dem Gremium präsentiert (durch reine Präsentation des Gruppensprechers oder durch Galeriemethode) und diskutiert. Vielfach werden dabei die Ideensammlungen konsolidiert.

Bild (B093modZ) Präsentation mittels Galerie

Bild (B020modZ) Gegenseitiges Erklären der Lösungsansätze

Bei grösseren Gruppen entsteht häufig ein Ungleichgewicht zwischen aktiven und passiven Teilnehmern und Teilnehmerinnen. Die Beteiligung von eher passiveren Personen kann durch eine gezielte Diskussionsmethode aktiviert werden, die Zwei-Kreis-Methode.

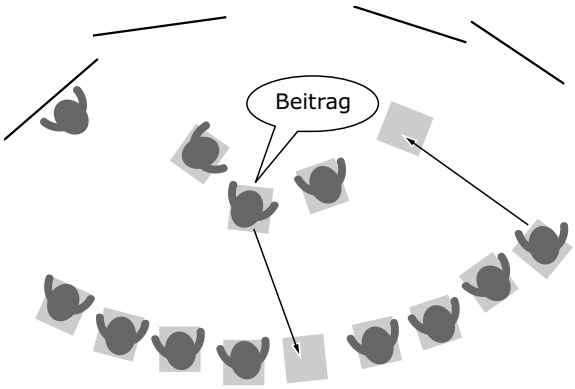


Bild (B021modZ) Zwei-Kreis-Diskussion

Dabei sind immer eine bestimmte Anzahl von Personen in einem inneren Diskussionskreis; die Teilnehmer im äusseren Kreis bilden die Zuhörer; ein Stuhl im aktivem Bereich steht frei und muss durch eine Person vom äusseren Kreis belegt werden. Sobald der Stuhl belegt ist, muss ein anderer Teilnehmer, der bereits einen Diskussionsbeitrag geleistet hat, den inneren Kreis verlassen und so wieder einen Stuhl frei machen.

3.3.7. Massnahmen festlegen

Nach dieser vertieften Bearbeitung und Präsentation der Themenbereiche können die verbleibenden Einzelvorschläge nochmals in eine Bewertung (z. B. durch Mehrpunkte-Abfrage) gelangen. Dabei kann entschieden werden, welche Themen weiter verfolgt werden (Massnahmen) und welche fallen gelassen werden. Wenn in diesen Phasen noch Punkte auftreten, die wichtig sind, aber nur am Rande zum vorliegenden Thema passen, so lohnt es sich eine zusätzliche Wand mit „unerledigt, Ideenbörse ...“ einzurichten (siehe Bild B022modZ).

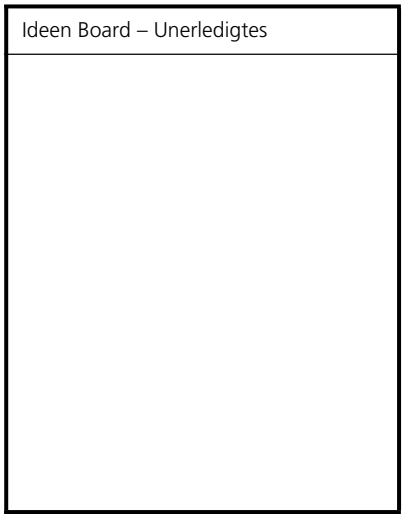


Bild (B022modZ) Ideen-Board

Wer eine Sitzung bzw. Moderation ohne Massnahmenplan beendet, hätte die Sitzung nicht einberufen müssen. Am Ende des Meetings oder am Ende einer Phase müssen alle Entscheide gesammelt und eine Massnahmenliste erstellt werden. Wichtig dabei ist, bei jeder einzelnen Massnehme

- das Ziel (die Messung der Zielerreichung),
- die Verantwortlichkeit (die Rückmeldung) und
- die Frist

anzugeben (vergleiche T005modZ).

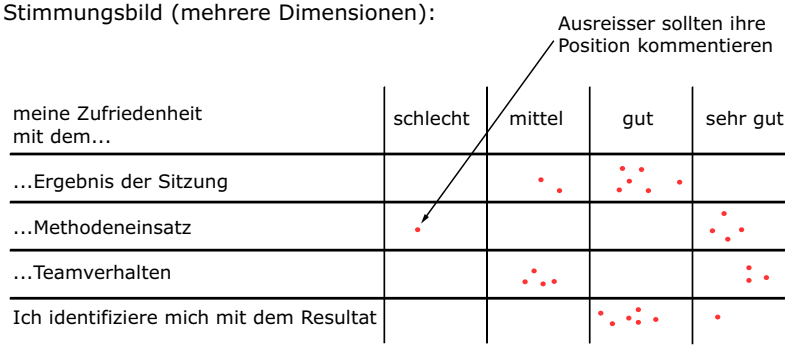
Massnahmen, To-do's:			
Was	Erwartetes Ergebnis	Wer?	Wann?

Tabelle (T005modZ) Massnahmenliste

3.3.8. Abschliessen, Protokollieren

Als Abschluss eines Meetings sollte eine Reflexion auf die gemeinsame Arbeit, das Resultat erfolgen. Dies kann beispielsweise eine Rückführung der persönlichen Zufriedenheit des Erreichten sein. Dazu kann wieder die Ein-Punkt-Abfrage eingesetzt werden:

1-Punkt-Abfrage
Stimmungsbild (mehrere Dimensionen):



Stimmungsbild (1 Dimension):

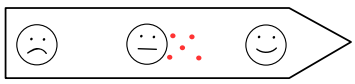


Bild (B024modZ) Ein-Punkt-Abfrage

Einige Tage nach dem Workshop erhalten die Teilnehmer ein Simultanprotokoll (direkte digitale Foto-Aufnahme der erarbeiteten Pla-

kate). Dies hat den Vorteil, dass es sehr schnell realisierbar, jedoch den Nachteil, dass es meist nur von den Teilnehmern verstanden wird.

3.4. Arbeitsformen des moderierten Workshops

Eine gezielte Variation der Arbeitsformen fördert die geistige Präsenz aller Teilnehmer und Teilnehmerinnen.

Arbeitsformen:	Einsatz:
Arbeit im Gremium	Konsensfindung, Ausrichtung der Gruppe
Gruppenarbeit	Ausarbeitung von Teilthemen, unterschiedliche Blickwinkel generieren
Präsentation durch Gruppen	Vermittlung von Teilresultaten, Konsensbildung
Einzelarbeit	Konzentrationsarbeit, Ideengenerierung
Präsentation durch Einzelperson	Wissensvermittlung, Ausgleich des Wissens der Beteiligten

Tabelle (T006modZ) Arbeitsformen

Der Entscheid für die effizienteste Arbeitsform und vor allem den gezielten Wechsel der Form (alle 1–2 Stunden), wird vom Moderator vorbereitet.

3.5. Moderation mit IT-Unterstützung

Auch die Moderationstechnik wird zunehmend durch moderne IT-Werkzeuge beeinflusst. Ein Beispiel dafür ist:

Örtlich verteilte Teams können Ideen mittels des persönlichen Organizers oder Laptops eingeben. Diese werden auf einem Server gesammelt und durch den Moderator strukturiert und über das Netzwerk wieder allen anderen Teilnehmenden mit Beamern visualisiert.

Es ist abzusehen, dass solche Möglichkeiten auch bald in die Praxis gelangen.

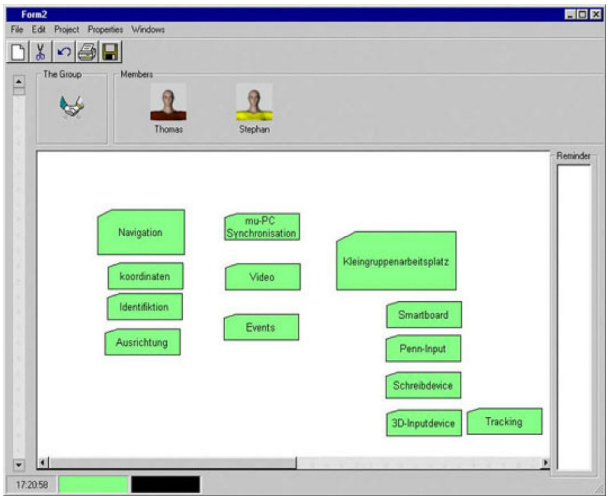


Bild (B092modZ) Oberfläche einer EDV-unterstützten Kartentechnik (ETH Zürich)

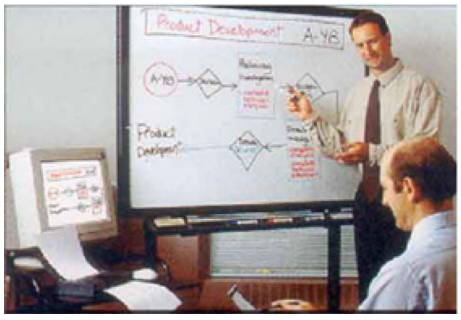


Bild (B091modZ) Digitale Pinwand

3.6. Funktion der Moderierenden

Der Moderator oder die Moderatorin vereint viele einzelne Funktionen in einer Person. Es sind dies:

- Planer: Im Vorfeld der Moderation wird der Workshop detailliert vorbereitet.
- Taktgeber: Die moderierende Person achtet auf die Einhaltung des Zeitplans, lässt aber auch gezielt Abweichungen zum vorgegebenen Fahrplan zu, wenn die Situation dies erfordert.
- Methodiker: Die moderierende Person überlegt sich die weiteren Moderationsschritte, wobei sie immer das Gesamtziel vor Augen hat. Obwohl gedanklich vorbereitet, erfordert dies eine „just-in-time" Anpassung an die aktuelle Gegebenheit. Während die Gruppe in der Ausarbeitung und Diskussion eines Moderationsschrittes ist, bedenkt die moderierende Person schon die möglichen Resultate des aktuellen Schrittes und die danach notwendige Methodik zum nächsten Etappenziel.
- Analytiker: Die moderierende Person muss eine gute Antenne entwickeln, um eintretende Unstimmigkeiten, fehlende Identifikation und vieles Weitere während des Arbeitens zu erkennen, frühzeitig eine notwendige Diskussion einzuleiten und Problemfelder zu beleuchten.

3.7. Regeln und Hinweise für eine erfolgreiche Moderation

Einige Regeln und Hinweise helfen mit, eine für alle erfolgreiche Moderation zu erleben:

- Abwechslung: Zwischen Gruppen- und Einzelarbeit wechseln, mit Pausen unterbrechen, so kann das Leistungsniveau hoch gehalten werden.
- Unordnung in der Diskussion eine gewisse Zeit zulassen, sie ist ein Hexenkessel der Gedanken und für die Lösungssuche und spätere gezielte Lösungsfindung notwendig.
- Konsens abfragen: Schweigen kann Ablehnung bedeuten, Nicken kann passive Zustimmung bzw. Duldung bedeuten, aber beides ist kein klares „ja, ich bin einverstanden". Immer wieder in Zwischenschritten aktive Konsensbildung durch Fragen im Team herbeiführen (falls dies verpasst wird, besteht das Risiko, dass die erarbeitete Lösung keine Tragfähigkeit besitzt oder in der Diskussion nochmals weit zurückgegangen werden muss).
- Unverbindlichkeit vermeiden, wie z.B. „man sollte". Wenn immer möglich klare Stellungnahme herbei führen, wie z.B. „ich werde...".
- Beobachten: Es lohnt sich, die zwischenmenschlichen Beziehungen innerhalb der Gruppe zu beobachten und von Zeit zu Zeit, ein Feedback zu geben, d. h. die Mitglieder auf gewisse Gewohnheiten hinzuweisen.
- Keine externen Störmöglichkeiten wie Piepser, Telefonapparate etc. zulassen. Eingehende Anrufe zentral ausserhalb des Sitzungsraumes abfangen. Diese können in speziellen Pausen weitergegeben und beantwortet werden.

Unter Umständen lohnt es sich, einige dieser Regeln sichtbar für alle aufzuhängen.

4. Zusammenfassung

Für komplexe Problemstellungen, welche nur durch kombiniertes Wissen mehrerer Personen erarbeitet werden können und deren Lösung nachhaltig von den Betroffenen getragen werden soll, eignet sich die Methode der Moderation.

Durch einen Moderator oder eine Moderatorin geführt, werden die Ziele gesteckt, das Problem strukturiert, Lösungen erarbeitet, bewertet und Massnahmen abgeleitet. Eine der wesentlichen Erfolgsfaktoren ist die gute Vorbereitung auf die moderierte Sitzung.

Die Moderationstechnik bietet verschiedene Methoden und strukturierte Arbeitsweisen. Die dargestellte Methodik eignet sich sowohl für Managementaufgaben wie Strategieerarbeitung, Prozessoptimierungen als auch Entwicklungsprozesse.

Wichtige Begriffe bzw. Prozesse:

- Informationssitzung, Besprechung oder Moderation
- Vorbereitung einer Moderation
- Organisation
- Werkzeuge
- Der Ablauf
- Der moderierte Workshop
- Der Moderator
- Regeln zur erfolgreichen Durchführung

Verständnisfrage 1

Beschreiben Sie den Unterschied zwischen einer Informationssitzung und einer moderierten Besprechung.

Verständnisfrage 2

Wieso ist die Visualisierung ein wesentliches Element der Moderation?

Verständnisfrage 3

Auf welche Kriterien achten Sie bei der Auswahl der Teilnehmenden?

Verständnisfrage 4

Welche Vorbereitungsarbeiten sind dringend durchzuführen?

Verständnisfrage 5

Welche Einstiegsmethoden haben Sie kennen gelernt und welche würden Sie wann einsetzen?

Verständnisfrage 6

Mit welcher Methode sammeln Sie die Vielfalt der Ideen einer Problemstellung?

Verständnisfrage 7

Beim Strukturieren ergeben sich unterschiedliche Meinungen darüber, unter welchen Thementitel eine Idee zu ordnen ist. Was würden Sie als Moderator/in bei solchen Unstimmigkeiten vorschlagen?

Verständnisfrage 8

Beim Bewerten von Aufwand - Nutzen mittels einer Matrix gibt es drei Bereiche. Beschreiben Sie diese Felder und empfehlen Sie eine Vorgehensweise.

Verständnisfrage 9

Was sind die wichtigsten Prozessschritte gegen Ende einer moderierten Besprechung?

Verständnisfrage 10

In der Ein-Punkt-Abfrage am Ende des Workshops zeigen sich die meisten Teilnehmer und Teilnehmerinnen mit dem erreichten Resultat zufrieden. Eine Person setzt den Punkt jedoch in den „unzufriedenen Bereich". Wie gehen Sie als Moderator vor?

Antwort 1

- Bei der Informationssitzung ist das gegenseitige Informieren im Vordergrund und nur kleinere Problemstellungen werden direkt angegangen.
- Die moderierte Besprechung ist hauptsächlich für das Bearbeiten komplexer, vernetzter Probleme geeignet.

Antwort 2

- Die Visualisierung richtet die Gedanken und Handlungsweise auf das Problem aus
- Sie hilft zu konzentrieren
- Visualisierung ist verbindlich

Antwort 3

- Interdisziplinäre Zusammensetzung
- kreative, aufgeschlossene Personen
- Vollständigkeit des Wissens
- Integration der Betroffenen

Antwort 4

- Definieren und Abklären von:
  - Ziel / Zweck
  - Messgrössen des Projekterfolges
  - Inputs / Unterlagen
  - Ressourcen
  - Rahmenbedingungen
- Organisation von:
  - Teilnehmereinladung
  - Ort
  - Werkzeuge
- Verteilte Vorbereitung der Struktur und Methodenauswahl der Moderation

Antwort 5

- Fünfziger-Ziel: für Teilnehmer, welche Sie schon kennen
- Ein-Punkt-Abfrage: um Stimmungsbilder aufzunehmen
- Bild – Person – Identitätskarte: um Personen auch auf der emotionalen Seite kennenzulernen
- Moderationslotto: um zwischen den Teilnehmern einen Erstkontakt zu schaffen

Antwort 6

Kartenabfragetechnik

Antwort 7

In solchen Fällen verdoppelt man die Karten und ordnet die Karten in beiden Gruppen ein.

Antwort 8

- Hoher Nutzen/kleiner Aufwand: sofort Massnahme definieren und umsetzen
- Tiefer Nutzen/hoher Aufwand: nicht lohnende Themen u.U. später wieder aufnehmen
- Hoher Nutzen/hoher Aufwand: Projekte mit Massnahmen und Verantwortung definieren

Antwort 9

- Massnahmen definieren
- Protokoll erstellen
- (Reflexion des Workshops)

Antwort 10

Die Person signalisiert eine klare Unzufriedenheit bzw. einen Widerstand. Lassen Sie die Person die Gründe kurz erläutern und notieren Sie die Bemerkungen auf dem Plakat. Gemeinsam legen Sie weitere konkrete Massnahme fest, um die Problematik zu lösen oder wieder aufzunehmen.

Relevante Cases

- Globe-Air
- Rasenmäher

Publikationsverzeichnis – Literatur

[1] Schnelle-Cölln, T., Schnelle, E.: Visualisieren in der Moderation. Eine praktische Anleitung für Gruppenarbeit und Präsentation. Reihe Moderation in der Praxis, Band 5. Windmühle-Verlag, Hamburg, 1998

[2] Klebert, K., Schrader, E., Straub, W.G.: Kurzmoderation. Anwendung der Moderationsmethode in Betrieb, Schule und Hochschule, Kirche und Politik, Sozialbereich und Familie bei Besprechungen und Präsentationen; mit 20 Beispielabläufen. 2. unveränderte Auflage, Windmühle-Verlag, Hamburg, 1998

[3] Wohlgemuth, A. C. (Hrsg.): Moderation in Organisationen. Problemlösungsmethode für Führungsleute und Berater. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 1993

[4] Seifert, J. W.: Besprechungs-Moderation. Mit neuen Techniken effektiv leiten, erfolgreich teilnehmen, Zeit sparen. 3. überarbeitete Auflage, Gabal Verlag GMBH, Offenbach, 1996

[5] Redlich, A.: Konflikt-Moderation. Handlungsstrategien für alle, die mit Gruppen arbeiten; mit vier Fallbeispielen. Windmühle-Verlag, Hamburg, 1996

[6] Koch, G.: Die erfolgreiche Moderation von Lern- und Arbeitsgruppen. Praktische Tipps für jeden, der mit Teams mehr erreichen will. 3. Auflage, Verlag Moderne Industrie, Landsberg, 1992

[7] Schilling, G.: Moderation von Gruppen. Der Praxisleitfaden für die Moderation von Gruppen, die gemeinsam arbeiten, lernen, Ideen sammeln, Lösungen finden und entscheiden wollen. Schilling, Berlin, 1998

Publikationsverzeichnis – Weblinks

- Ultradex: http://www.ultradex.de/
- Moderationsmaterial bei Neuland AG, Baar: http://www.neuland.ch/

Publikationsverzeichnis – weitere relevante Dokumente

- Orientierung Nr.108 der Credit Suisse AG: Flow Teams – Selbstorganisation in Arbeitsgruppen

Konzept-Prozess

Autor: Prof. Dr. Markus Meier

1. Überblick

Motivation

Eine Produktpositionierung sieht vor, ein individuelles Transportgerät für kurze Distanzen zu entwickeln. Das Pflichtenheft hält folgende Eigenschaften fest:

- Transportgerät für Belastung von max. 100 kg, eine Person
- Antrieb durch Muskelkraft
- Einsatz für kurze Distanzen auf asphaltiertem Boden
- Bremse vorhanden
- Zusammenlegbar, so dass durch eine Person ergonomisch transportierbar

Diese Positionierung entspricht offensichtlich dem modernen Scooter (retrospektiv).

Bild (B015konZ) Scooter

Drehen wir aber gedanklich die Zeit zurück:

- Die Lösung ist noch nicht bekannt.
- Sie sind mit der Positionierung konfrontiert und müssen das Produkt entwickeln.
- Ist dies die „optimale“ Lösung? Gibt es bessere?

Betrachten wir einige alternative Lösungsvorschläge aus einer Bildergalerie (Studien der Hochschule für Gestaltung und Kunst, Zürich 2002).

Vorschlag 1

- Fahrer sitzt
- Scheibenbremsen
- aufblasbar
- 3 Rollen

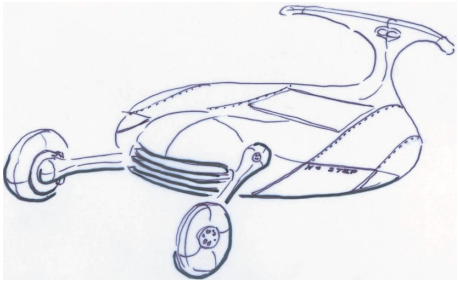


Bild (B016konz) Lösung 1

Vorschlag 2

- Fahrer sitzt
- Bremsen durch Fussstütze
- Textil in Al-Rahmen
- 2-fach klappbar

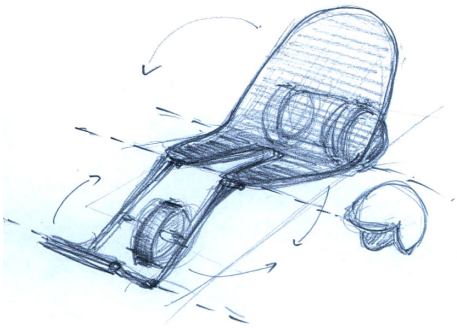


Bild (B017konZ) Lösung 2

Vorschlag 3

- Fahrer steht
- Bremsen über Schutzblech

- Antrieb über Pedal
- Einfach klappbar
- Al-Gestell

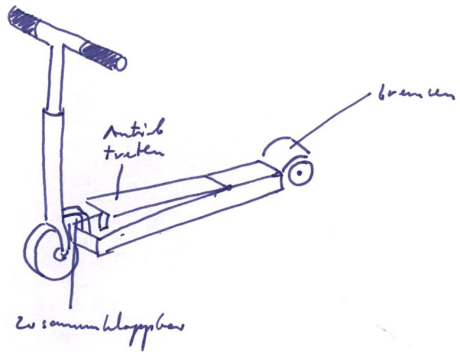


Bild (B018konZ) Lösung 3

Vorschlag 4

- Fahrer steht
- Backenbremsen
- Antrieb mit Fuss
- 2-fach klappbar
- Kunststoff

Bild (B019konZ) Lösung 4

Die Ideen sind beliebig erweiterbar.

- Wie gehen Sie vor, um die „optimale“ Lösung zu finden?

Ein methodisches Vorgehen ist notwendig, um das Lösungsfeld zu überblicken. Das Vorgehen im Überblick:

1. Gliederung in Funktionen:
   - Fahrzeug bewegen
   - Fahrzeug antreiben
   - Fahrzeug lenken
   - Fahrer tragen
   - Fahrzeug tragen
   - Fahrzeug abstellen
   - Strasse beleuchten
   - Fahrzeug abschliessen.
2. Zu jeder Funktion können einzelne Lösungen generiert werden (siehe B900konZ).
3. Gesamtlösungen generieren (siehe B901konZ).
4. Gesamtlösung konkretisieren (siehe B020konZ und B902konZ).
5. Auswählen und Bewerten.

Morphologischer Kasten

Fahrzeug bewegen	2 Rollen	3 Rollen	Grosse Rollen	Kleine Rollen	Gleiten	Hüpfen
Fahrzeug antreiben	Direkt mit Fuss	Wippen mit Lenker	Fusswippe	Gewichtsver-lagerung	Aufziehen	Treten
Fahrzeug lenken	Steuerrad	Lenker	Knüppel	Gewichtsver-lagerung		
Fahrzeug tragen	Unter Arm	Am Rücken	In Tasche	Klappen	Aufblasen	
Fahrzeug abstellen	Zusammen-klappen und mitnehmen	In Tasche	In Velo-ständer	An Wand		
Fahrzeug beleuch-ten	Akkulampe zum Auf-stecken	Mit Dynamo	Keine Beleuch-tung	Katzenaugen		
Fahrzeug abschlies-sen	Mit mitge-leifertem Bügelschloss	Rad-blockie-rung	Nicht ab-schliessbar			

Bild (B900konZ) Morphologischer Kasten

Morphologischer Kasten

Fahrzeug bewegen	2 Rollen	3 Rollen	Grosse Rollen	Kleine Rollen	Gleiten	Hüpfen
Fahrzeug antreiben	Direkt mit Fuss	Wippen mit Lenker	Fusswippe	Gewichtsver-lagerung	Aufziehen	Treten
Fahrzeug lenken	Steuerrad	Lenker	Knüppel	Gewichtsver-lagerung		
Fahrzeug tragen	Unter Arm	Am Rücken	In Tasche	Klappen	Aufblasen	
Fahrzeug abstellen	Zusammen-klappen und mitnehmen	In Tasche	In Velo-ständer	An Wand		
Fahrzeug beleuch-ten	Akkulampe zum Auf-stecken	Mit Dynamo	Keine Beleuch-tung	Katzenaugen		
Fahrzeug abschlies-sen	Mit mitge-leiferterm Bügelschloss	Rad-blockie-rung	Nicht ab-schliessbar			

Bild (B901konZ) Morphologischer Kasten mit verbundenen Teillösungen

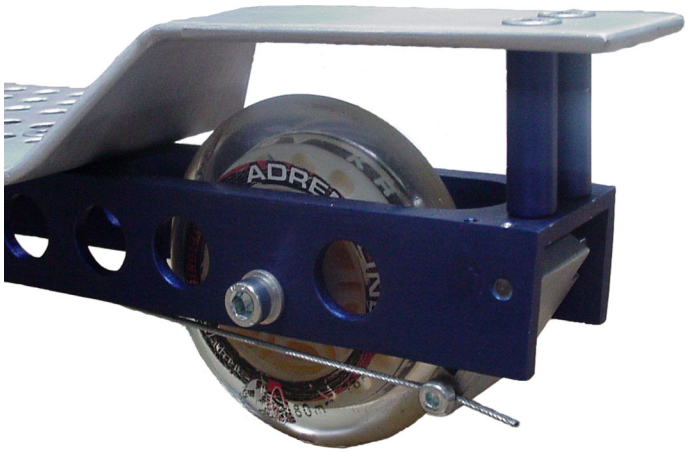


Bild (B020konZ) Kickboard

Bild (B902konZ) Anhänger

Lernziele

Die Studierenden

- ordnen den Konzept-Prozess richtig in den Entwicklungsprozess ein und erkennen die hohe Bedeutung,
- verstehen den Aufbau und Inhalt einer Anforderungsliste,
- kennen die Elemente der Projektplanung,
- haben die Fähigkeit ein Produkt in Funktionen zu beschreiben,
- können intuitive als auch diskursive Lösungsfindungsmethoden in verschiedenen Varianten erklären und an einfachen Beispielen anwenden,
- lernen Teillösungen darzustellen und zu prinzipiellen Gesamtlösungen zu kombinieren,
- müssen die Notwendigkeit der Konkretisierung der Lösungen und Methoden dazu kennen und
- kennen die Auswahlverfahren und Bewertungsmethoden und können diese an einfachen Beispielen anwenden.

Einleitung

Der Vorstudien-Prozess mit Markt-Leistungs-Prozess und Grob-Konzept-Prozess ist abgeschlossen, die Produktpositionierung aus Sicht des Marketings bzw. des Produktmanagements erfolgt; das Pflichtenheft liegt vor. Nun beginnt das eigentliche Entwicklungsprojekt, gegliedert in die einzelnen Teilprozesse. Der erste Teilprozess wird als Konzept-Prozess bezeichnet.

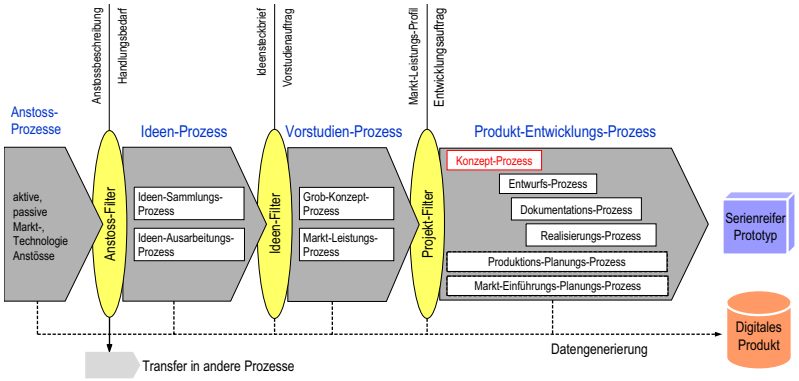


Bild (B034konZ) Der Konzept-Prozess im Innovations-Prozess

Im Konzept-Prozess werden, ausgehend vom Pflichtenheft und der Anforderungsliste, ein Konzept oder mehrere Konzeptvarianten ausgearbeitet.

Definition: Ausgangszustand für den Konzeptprozess ist die Produktpositionierung mit dem integrierten Pflichtenheft. Im Endzustand des Konzeptprozesses liegen eine oder mehrere prinzipielle Lösungen vor, welche die geforderten Funktionen des Produkts erfüllen und durch ihre Wirkprinzipien und -strukturen bereits geometrische und stoffliche Festlegungen enthalten. Ebenso werden Zeit- und Kosteninformationen für Projekt und Produkt konkretisiert.

Methodisch ist der Konzeptprozess in abwechselnd divergierende Schritte (Erweiterung des Lösungsraumes) und konvergierende Schritte (Reduktion des Lösungsraumes) darstellbar. Sowohl diskursives als auch intuitives Vorgehen werden gezielt eingesetzt.

Prozessorientiert ist der Konzeptprozess in die folgenden Teilprozesse gliederbar:

1. Projektdefinition
2. Funktionsgliederung
3. Lösungsfindung
4. Kombination der Gesamtlösung
5. Konkretisierung der Gesamtlösung
6. Auswahl, Bewertung.

Die Konzeptphase kann auch detailliertere Teilbetrachtungen im Sinne einer Machbarkeitsanalyse beinhalten. Ein konkretes Funktionsmuster beispielsweise ermöglicht die Analyse kritischer Wirkprinzipien und die Früherkennung von Problemen.

Eine Konzepterarbeitung wird im Rahmen einer Produktentstehung bevorzugt dann durchgeführt, wenn z. B. bei Neu- oder Anpas-

sungskonstruktionen Lösungen auf der Grundlage funktionaler oder physikalischer Überlegungen erarbeitet werden. Diese Aufgabenstellung ist nicht bei jeder Entwicklungsaufgabe gegeben, z. B. werden bei einer Variantenkonstruktion vor allem geometrische, werkstoff-, und fertigungstechnische Fragestellungen im Vordergrund stehen. Es muss im Einzelfall überprüft werden, ob eine Konzepterarbeitung notwendig ist und ob sie für das Gesamtprodukt oder nur für Teilbereiche durchgeführt werden soll.

Im Konzeptprozess wird die Produktlösung so weit ausgearbeitet, dass wesentliche technische Eigenschaften, Herstellkosten, Ressourcen zeitlicher und personeller Art sowie Risiken abgeschätzt werden können. Abschliessend wird entschieden, ob das Projekt weitergeführt wird und welche Variante im nachfolgenden aufwändigen Entwurfs-Prozess zu einem marktreifen Produkt ausgearbeitet werden soll.

Je nach Art des Produktes müssen grobe Überlegungen zum Produktkonzept schon im Rahmen der Vorstudie im Grob-Konzept-Prozess durchgeführt werden. Dabei beschränkt man sich auf die Festlegungen, die als Eckpunkte für den Markt-Leistungs-Prozess gebraucht werden. Im Extremfall können auch schon Machbarkeitsanalysen im Rahmen der Vorstudie stattfinden.

1.1. Bedeutung des Konzept-Prozesses

Mit dem Konzept werden Funktions- und Wirkprinzipien des Produktes und zum Teil bereits der grundsätzliche Aufbau bzw. die Anordnung von Komponenten festgelegt. Damit wird auch ein Grossteil der Herstellkosten des Produkts bestimmt. Der Konzeptprozess hat also eine enorme Bedeutung und Tragweite, obwohl er im Verhältnis zu den nachfolgenden Arbeiten weniger Aufwand erfordert. Die Arbeiten im Konzeptprozess sind daher sehr anspruchsvoll und erfordern eine vorausschauende und veranwortungsbewusste Bearbeitung.

Zu Beginn der Arbeiten ist das Produkt noch weitgehend bestimmbar. Daher bestehen hier die meisten Einflussmöglichkeiten auf Funktionalität, Qualität und Kosten des Produkts. Umgekehrt sind die dabei ablaufenden Prozesse im Verhältnis zu nachfolgenden Produkt- und (Herstell-) Prozessentwicklungsarbeiten bescheiden.

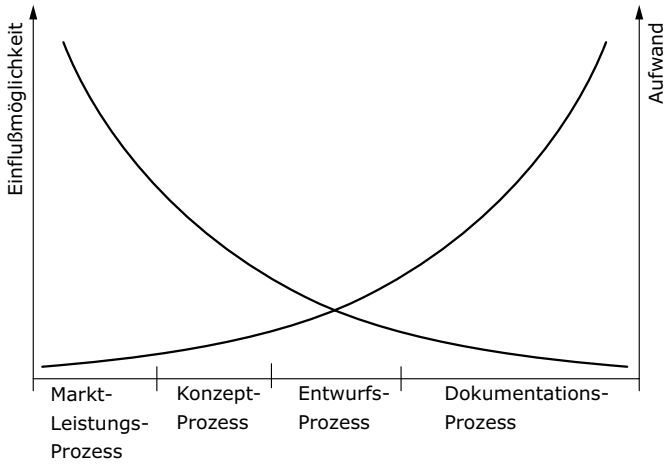


Bild (B800KonD) Aufwand und Einflussmöglichkeiten bei derProduktentwicklung

Produktentwicklung kann positiv beeinflusst werden, indem der Konzeptprozess intensiver durchgeführt wird. Durch nur wenig Mehraufwand kann das grösste Potenzial im gesamten Entwicklungsprozess erschlossen werden.

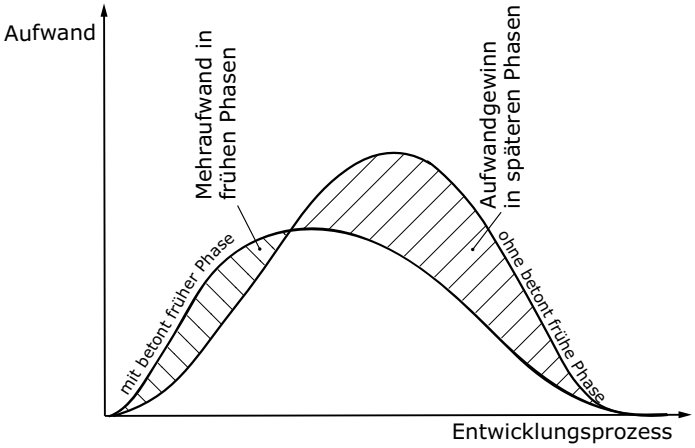


Bild (B801konD) Verlauf des Entwicklungsaufwands bei mit Projekten ohne und mit betonten frühen Phasen

Durch eine sehr sorgfältige Aufgabenklärung und Konzeptentwicklung können in erheblichem Umfang in den nachfolgenden Entwicklungsprozessen Aufwand, Entwicklungszeit und Kosten einge-

spart werden. Vermindert werden auch Änderungen, Nachentwicklungsaufwände und Probleme beim Produktionsanlauf.

1.2. Intuitive und diskursive Problemlösung

Beim Problemlösen (Konzipieren ist ein Problemlösungsprozess) gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen. Oft wird versucht, das Problem in einem Zug zu lösen, d.h. man wird so lange nachdenken bis eine Lösung offensichtlich ist. Dieses Vorgehen wird als intuitives Vorgehen bezeichnet.

Intuitives Problemlösen ist eine spezifisch menschliche Denkform und basiert auf dem Multiplem Denken [Oerter 1974]. Man nimmt an, dass dabei mehrere Denkprozesse simultan und weitgehend im Unterbewusstsein ablaufen. Die Prozesse können zu einem positiven Ergebnis führen, das als plötzlicher Einfall zutage tritt.

Definition: Intuitives Vorgehen basiert auf parallelem (multiplem), weitgehend unbewussten Denken und nutzt in hohem Masse Erfahrung und Kreativität.

Demgegenüber wird beim diskursiven Problemlösen versucht, das Vorgehen zu strukturieren.

Definition: Diskursives Vorgehen ist als schrittweises, weitgehend bewusstes Denken aufzufassen, das durch Vorgehenspläne strukturiert und durch Methoden unterstützt werden kann.

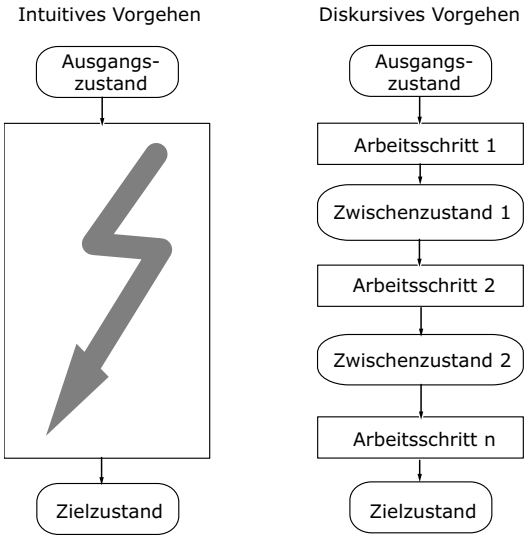


Bild (B802konZ) Intuitives und diskursives Vorgehen bei der Produktentwicklung

Beim diskursiven Vorgehen werden schrittweise Teilaspekte der Aufgabe bearbeitet. Das Endergebnis wird über Zwischenzustände erreicht. Dabei kann sich der Konstrukteur auf die Bearbeitung der jeweiligen Teilaspekte konzentrieren. Seine mentale Belastung wird verringert. Die Vor- und Nachteile des intuitiven bzw. diskursiven Vorgehens sind:

Intuitives Vorgehen	Diskursives Vorgehen
• Stimuliert den Lösungsprozess • Kann unterstützt werden durch Kreativitätstechniken • Ist bei guten Entwicklern und vertrauten Aufgaben schnell und effizient • Ergibt gute Ergebnisse bei erfahrenen Experten • Ist schlecht zu managen, da der kreative Einfall nicht erzwungen werden kann	• Besteht aus abgeschlossenen Teilschritten • Ist in Arbeitsschritten und Zwischenzuständen beschreibbar • Geht logisch, folgerichtig vor • Ist kontrollierter und damit beherrschbarer • Ist aufwändiger • Sichert grösseres Lösungsfeld • Kann „Erfindergeist" hemmen

Tabelle (T001konD) Intuitives und Diskursives Vorgehen im Vergleich

In der Praxis ist bei Konzeptentwicklungsprozessen sowohl das intuitive (vermutlich häufiger) als auch das diskursive Vorgehen verbreitet. Trotz der Vorteile des intuitiven Vorgehens ist dieses bei komplexen Produkten nicht unproblematisch.

Insgesamt ermöglicht das diskursive Vorgehen einen besseren Überblick über die ganze Breite des Lösungsfeldes. Damit wird gegenüber dem intuitiven Vorgehen die Chance erhöht, eine optimale Lösung zu finden.

Effizientes und effektives Konzipieren ist dann gegeben, wenn die Vorteile des intuitiven und diskursiven Vorgehens individuell und kontextabhängig beim Konzipieren genutzt werden. Vielfach ist es vorteilhaft, zuerst intuitiv erste Lösungen bzw. Teillösungen zu generieren und dann in einem diskursiven Vorgehen darauf systematisch aufzubauen, bzw. die intuitiv erarbeiteten Teillösungen in eine diskursiv erarbeitete Struktur zu transferieren.

1.3. Divergenz und Konvergenz beim Konzipieren

Beim methodischen Entwickeln wird grundsätzlich versucht, viele Varianten zu generieren. Durch Auswählen und Bewerten wird die Zahl wieder reduziert. In mehreren Schritten wird abwechselnd der Lösungsraum erweitert (divergentes Vorgehen) und eingeengt (konvergentes Vorgehen). Damit bleibt die Anzahl der Lösungen handhabbar.

Definition: Divergentes Vorgehen erhöht die Anzahl von Lösungen, erweitert also den Lösungsraum.

Definition: Konvergentes Vorgehen scheidet Lösungen aus oder stellt sie zurück, reduziert also den Lösungsraum.

Divergentes und konvergentes Vorgehen finden beim Konzipieren abwechselnd statt, um:

- den Lösungsraum gross genug zu halten, damit alle wichtigen Lösungen enthalten sind,
- klein genug zu halten, damit der Konzeptprozess beherrschbar bleibt und effizient bewältigt werden kann.

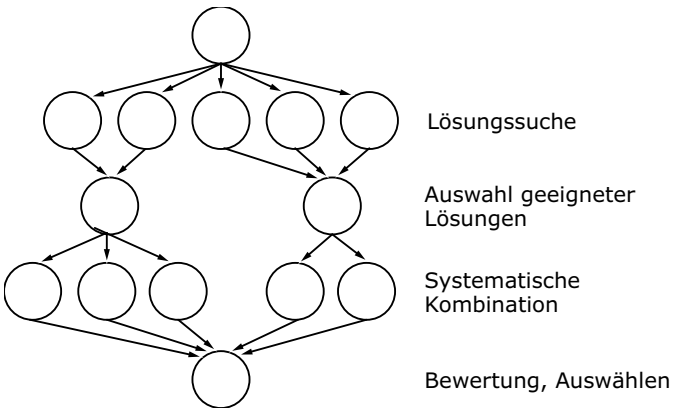


Bild (B803konD) Wechsel zwischen divergenten und konvergentem Vorgehen bei Konzipieren

Divergentes Vorgehen wird mittels Variieren und Kombinieren erreicht, konvergentes Vorgehen durch Strukturieren, Auswählen und Bewerten.

1.4. Teilprozesse, Produktmodelle

Der Konzeptprozess ist in der Regel komplex, d. h. eine Vielzahl von Einflussfaktoren und Unsicherheiten wirken hochgradig vernetzt und zeitlich veränderlich auf die Entwicklungsarbeit ein. Die Entwickler/-innen haben eine grosse Informationsfülle zu bewältigen und viele Abhängigkeiten und Restriktionen zu berücksichtigen. Die Optimierungskriterien sind unübersichtlich.

Ein wichtiger Ansatz der Konstruktionsmethodik ist, den Konzeptprozess zu strukturieren. Damit soll seine Komplexität beherrschbar werden und gleichzeitig der Prozess selbst und sein Ergebnis verbessert werden. Der Konzeptprozess ist in Teilprozesse gliederbar (siehe Bild B001konZ):

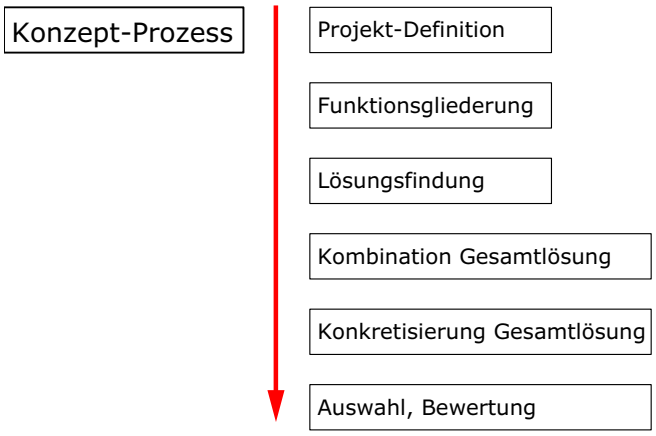


Bild (B001konZ) Gliederung des Konzeptprozesses in Teilprozesse

Jedem dieser Teilprozesse ist eine Beschreibungssprache des Produktes, das entsprechende Produktmodell zugeordnet.

Definition: Produktmodell ist der Sammelbegriff für formal festgelegte virtuelle Beschreibung in abstrakter Form von Produkten während des Entwicklungsprozesses.

Die Konstruktionsmethodik hat zur Definition von Arbeitsebenen geeignete Produktmodelle erarbeitet, die sich am Grundprinzip von Abstraktion und Konkretisierung orientieren.

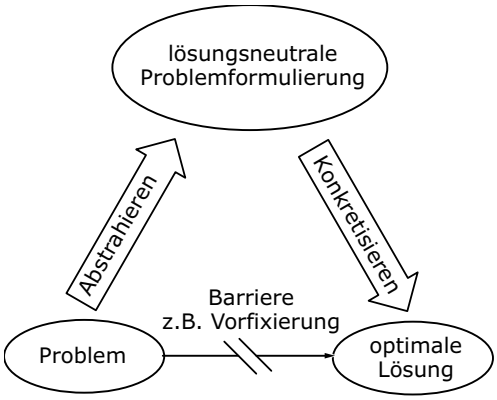


Bild (B804konD) Abstrahieren und Konkretisieren beim Konzipieren.

Barrieren, die einen direkten Zugang zur optimalen Lösung versperren, können umgangen werden, indem zunächst vom Problem abstrahiert wird. Vom höheren Abstraktionsniveau ausgehend werden dann wiederum zunehmend konkretere Vorstellungen (Problemlösungen) entwickelt.

Der Konzeptprozess basiert auf einer Anforderungsliste und drei Produktmodellen entlang der Teilprozesse.

Die Anforderungsliste

Die Anforderungsliste stellt die zukünftigen Eigenschaften (in tabellarischer Textform) dar:

Nr.	Anforderung	Zahlenwert mit Toleranz	Fest- oder Wunsch-forderung (F/W)	Ursprung, Erläuterung	Ersteller (Name, Datum)	Modifikationen (Verantwortlich, Datum)
	Geometrische Anforderungen					
1	Maximale Höhe	170 mm ± 0.2 mm	F	Kunden-forderung	Müller 27.09.02	–
2	Max. Durchmesser	65 mm ± 0.1 mm	F	Fertigungs-möglichkeiten	Braun 27.09.02	nach Rücksprache mit Fertigung von 58 mm auf 65 mm erhöht (Riedl, 29.09.02)
...						

Bild (B039konZ) Aufbau einer Anforderungsliste

Produktmodell 1 – das Funktionsmodell

Die Gesamtfunktion des Produktes wird durch Teilfunktionen dargestellt. Teilfunktionen beschreiben lösungsneutral die Aufgabe, für die später konkrete Lösungen erarbeitet werden müssen. Das Zusammenwirken mehrerer Teilfunktionen lässt sich oft zweckmässig in Funktionsstrukturen darstellen.

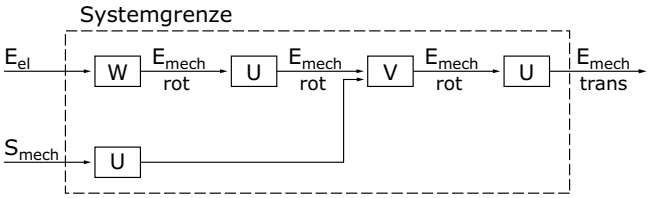


Bild (B004konZ) Darstellung des Funktionsmodells (Übersetzung einer Drehbewegung mit elektrischem Antrieb in eine mechanische Längsbewegung)

Produktmodell 2 – das Effektmodell

Die Arbeitsweise von Produkten basiert auf physikalischen (vermehrt auch chemischen oder biologischen) Vorgängen, welche als Effekte in einem Effektmodell beschreibbar sind.

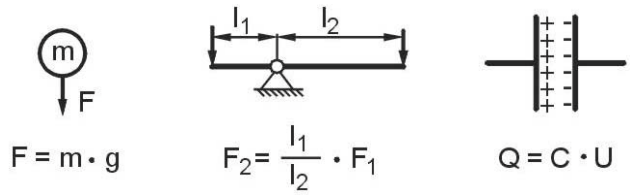


Bild (B003konZ) Darstellungen und Beispiele von Effektmodellen

Produktmodell 3 – das Wirkprinzipmodell

Wirkprinzipmodell: Wirkprinzipien nutzen physikalische Effekte und konkretisieren bzw. präzisieren deren Umsetzung in geometrische und stoffliche Eigenschaften hinsichtlich der Erfüllung der Aufgabenstellung. Sind mehrere Wirkprinzipien in einem Produkt vorhanden, können sie entsprechend der Topologie (Aufbaustruktur) zu Wirkstrukturen verknüpft werden.

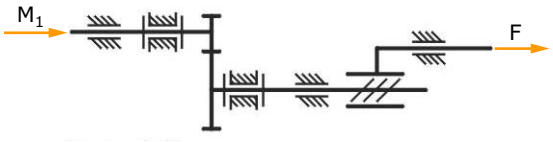


Bild (B002konZ) Darstellung eines Wirkprinzips (Übersetzung einer Drehbewegung in Längsbewegung)

Die Strukturierung des Konzeptprozesses basiert auf dem Prinzip des diskursiven Vorgehens. Die Arbeitsschritte werden als Teilprozesse beschrieben. Die Ergebnisse der Teilprozesse orientieren sich an Produktmodellen.

Aus methodischer Sicht wird das schrittweise Vorgehen über mehrere Zwischenzustände (Produktmodelle) mit Zweckmässigkeitsüberlegungen begründet:

- Das schrittweise Vorgehen von Produktmodell zu Produktmodell unterteilt den gesamten Konzeptprozess in überschaubarere Teilprozesse.
- Die einzelnen Teilprozesse können gezielt mit speziellen Methoden angegangen werden. Dabei ist es möglich geeignete Ressourcen zuzuordnen. Die Aufgaben können im Team mit teilweise wechselnder Zusammensetzung bearbeitet werden.
- Die Ergebnisse der Teilprozesse sind genau definiert und messbar. Damit wird der Konzeptprozess planbar, steuerbar und kontrollierbar hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität.
- Der bewusste Übergang von Modell zu Modell schafft beim Bearbeiter ein Verständnis für seine Gestaltungsspielräume auf jeder Modellebene und erleichtert ihm die Auswahl erfolgversprechender Varianten.
- Das Generieren und Auswählen von Lösungselementen auf jeder Modellebene erhöht die Wahrscheinlichkeit erheblich, ein für die Aufgabe optimales Konzept zu finden. Gleichzeitig wird das Risiko von Fehlentwicklungen reduziert, weil das gesamte Lösungsfeld erarbeitet wird und für eine Beurteilung zur Verfügung steht.
- Es ist ein Erfahrungsgrundsatz, dass erfolgreiche Produkte meist eine klare Produktstruktur, eine einfache Funktionsstruktur, eine eindeutige und funktionssichere Wirkstruktur und eine kostengünstige Baustruktur aufweisen.

1.5. Strukturieren des Produkts

Nicht jedes Produkt muss als Ganzes konzeptionell überdacht werden. Auch bei der Neuentwicklung komplexer Produkte können durchaus bewährte Baugruppen von bisherigen Produkten übernommen und Teilprozesse übersprungen werden.

Eine klare Strukturierung des Produkts ist in den meisten Fällen hilfreich. Die Teilbereiche des Produkts können weitgehend getrennt betrachtet werden, wodurch die Komplexität der Aufgabe weiter reduziert und die Lösungsfindung vereinfacht wird.

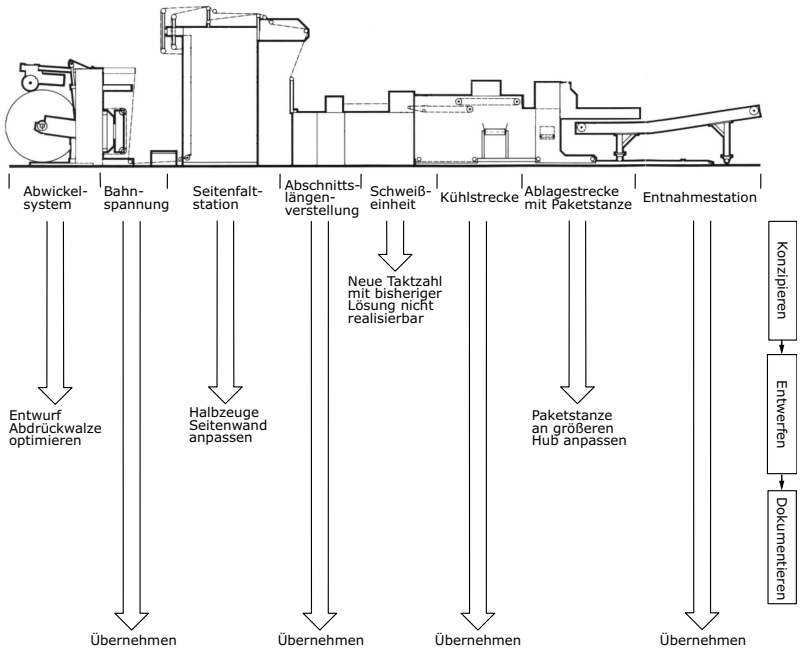


Bild (B805konD) Unterschiedliche Teilprozesse und Nutzung von Produktmodellen für das Entwickeln von Komponenten einer Verpackungsanlage.

Eine Strukturierung des Produkts in Baugruppen:

- ergibt eine Reihe von einfacher zu bearbeitenden Teilaufgaben mit geringerem Bearbeitungsumfang,
- ermöglicht die Aufteilung von Teilbereichen auf unterschiedliche Bearbeiter um deren spezifische Kompetenzen zu nutzen,
- verkürzt die Entwicklungszeiten durch die Möglichkeit der Parallelbearbeitung von Teilaufgaben,
- erleichtert das Ermitteln geeigneter Lösungen, weil der Suchraum kleiner ist,

- fördert das kreative Arbeiten, weil man vom komplexen Gesamtzusammenhang zunächst abstrahieren kann.

1.6. Realer Konzept-Prozess

Reale Konzeptprozesse basieren wesentlich auf diesen konstruktionsmethodischen Grundlagen. Je nach Aufgabe, Produkt, Unternehmen und Branche laufen sie jedoch sehr unterschiedlich ab, mehr sequentiell oder parallel, oft vernetzt oder verschachtelt, immer aber in hohem Masse arbeitsteilig. Ihr Verlauf ist von vielen Einflüssen abhängig, z. B. von der Konstruktionsart (Neu-, Anpassungs- oder Variantenkonstruktion) oder der Fertigungsart (Einzel-, Serienfertigung). Fricke [Fricke 1993] hat durch Analyse von konkreten Entwicklungsprozessen gezeigt, dass das Konzipieren oft intuitiv, erfahrungsbasiert und meist stark iterativ verläuft. Zudem werden parallel zum Konzipieren immer wieder Anforderungen präzisiert und erweitert. Konkrete Konzeptabläufe sind deshalb Unikate.

2. Projekt-Definition

Nach Abschluss des Vorstudien-Prozesses, der aus den Unterprozessen Markt-Leistungs-Prozesses und Grob-Konzept-Prozesses besteht, liegt als Ergebnis das erarbeitete Markt-Leistungs-Profil vor. Wichtiger Teil dieses Markt-Leistungs-Profils ist das Pflichtenheft, welches alle wesentlichen Markt-Forderungen enthält. Im Projekt-Definitions-Prozess erfolgt die Erarbeitung der ergänzenden Anforderungen an das neue Produkt.

Die Forderungen im Pflichtenheft sind marktorientiert. So werden hier alle kundenrelevanten Leistungsdaten, Verkaufspreise, Absatzmengen etc. festgeschrieben. Sie haben einen Vertragscharakter zwischen Unternehmensleitung einerseits und Projektleiter andererseits.

In der zu schaffenden Anforderungsliste ist das Pflichtenheft mit seinen Forderungen enthalten und darüber hinaus detaillierte Forderungen und Wünsche, die sich aus der Innensicht der Produktentwicklung oder dem Lebenszyklus des Produkts ergeben. Im Pflichtenheft für einen neuen Pkw sind zum Beispiel der Absatzmarkt Australien und die Möglichkeit des Einbaus von Kindersitzen gefordert. Für die konkrete Entwicklung sind ergänzend genaue Kenntnisse der Vorschriften und Gesetze für Kindersitze in der Anforderungsliste enthalten. Die Anforderungsliste muss in den weiteren Prozessen aktualisiert und ergänzt werden. Im Pflichtenheft werden zum Beispiel keine Produktions-Anforderungen festgelegt. Wenn sich im Entwurfs-Prozess zeigt, dass ein grosses Gussbauteil erstellt werden soll, so ist die in der Giesserei verfügbare maximale Krankapazität als eine neue Anforderung einzufügen.

Die im Projekt-Definitions-Prozess erarbeitete Anforderungsliste bildet das Zielsystem für das Entwicklungsprojekt. Ausgehend von diesem Zielsystem wird das Projekt im Sinne des Projektmanagement durchgeplant. Das zu entwickelnde Produkt, die zur Verfügung stehenden Zeiten, Kapazitäten und Budgets sind einige der wichtigen Einflussgrössen auf die festzulegende Projektstruktur.

Auch während dieses Teilprozesses wird das Kommunikationskonzept innerhalb des Teams als auch nach aussen festgelegt oder konkretisiert.

Zum Abschluss dieses Prozesses wird der nachfolgende Teil-Prozess freigegeben und vielfach mittels Kick-off-Meetings kommuniziert.

2.1. Anforderungliste

Zahlreiche Projekte beginnen mit unklarer oder unvollständiger Planung, was zu Problemen während der gesamten weiteren Projektbearbeitung führt – die gesteckten Ziele werden nicht erreicht. Wichtig ist es, bereits frühzeitig alle relevanten Informationen zu erfassen und ein gemeinsames Zielverständnis im Team aufzubauen. Nur so kann bei der Durchführung der Folgeprozesse eine wirkungsvolle Steuerung des Projektablaufs ermöglicht werden.

Die vertiefte, über die Inhalte des Pflichtenhefts hinausgehende Anforderungsklärung sollte in einem interdisziplinären Team durchgeführt werden.

Wesentlich für die Projekt-Definition ist die Konkretisierung des Entwicklungsziels (Was soll entwickelt werden?) durch die Anforderungsliste sowie die Definition der Vorgehensweisen im Projektablauf (Wie soll das Ziel erreicht werden?) durch den Projektplan.

Das im Markt-Leistungs-Prozess erarbeitete und von den Verantwortlichen genehmigte Pflichtenheft bildet die unverrückbare Basis des Projektes. Das Klären der Problemstellung (auch Bereinigen der Anforderungsliste genannt) wird in die Arbeitsschritte der Analyse, Strukturierung sowie der Formulierung unterteilt. Dabei sind grundsätzlich qualitätsbestimmende Forderungen in gleicher Weise wie Termine und Kosten zu beachten.

Bei der Analyse des Problems wird mit Methoden der Abstraktion, mit Checklisten, mit Systemgrenzenverschiebung, mit der Analyse des Umfelds usw. gearbeitet. Das Ziel dieses Arbeitsschritts ist es, den Kern des Problems dank intensiver Auseinandersetzung mit der Fragestellung zu erkennen und ein besseres Verständnis für die Abhängigkeiten im Allgemeinen zu gewinnen. Daraus ergeben sich dann neue oder ergänzende Anforderungen.

Das Strukturieren der Anforderungen ist notwendig, um bei einer grösseren Zahl von Anforderungen die Übersichtlichkeit zu garantieren. Die Strukturierung kann nach jeweils geeigneten Gesichtspunkten erfolgen, die sich zum Beispiel an inhaltlichen Gesichtspunkten (Technik, Kosten, Organisation), an Fachdisziplinen (Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Elektronik etc.) oder am Lebenslauf eines Produktes orientieren.

2.1.1. Allgemeines zu Anforderungen

Die Formulierung der Anforderungen muss:

- lösungsneutral sein
- positiv formuliert
- anspruchsvoll, aber erreichbar sein
- soweit möglich quantifiziert und durch Skizzen ergänzt
- klar und eindeutig sein
- auch vermeintlich selbstverständliche Punkte umfassen.

Durch eine lösungsneutrale Formulierung kann eine Einschränkung bei der Ideenfindung vermieden werden. Die Forderung „maximale Kraft = 1000 N" lässt im Gegensatz zu „maximale hydraulische Kraft = 1000 N" die Art der Krafterzeugung offen.

Die positive Formulierung ist besser geeignet als negative Formulierungen. Etwas erreicht zu haben ist besser zu vermitteln, als etwas verhindert zu haben: „Wir haben den Terminplan eingehalten!" versus: „Wir haben Verzögerungen im Projekt verhindert!"

Anforderungen an eine Produktentwicklung und -innovation müssen eine Herausforderung darstellen, jedoch muss die Erreichbarkeit des Gesamtziels auch sinnfällig sein.

Anforderungen müssen möglichst konkret formuliert werden. Die Forderung nach „einer spürbaren Kostensenkung" kann nicht konkret bearbeitet werden, solange nicht die Grössenordnung quantifiziert ist, die Ausgangsbasis definiert ist und klargestellt wird, welche Kosten gemeint sind.

Besonders gefährlich sind die scheinbaren Selbstverständlichkeiten zum Beispiel der Bedienung oder auch der Instandsetzung eines Geräts, weil sie oft vergessen und vernachlässigt werden. Ein spätes „das war doch klar" hilft dann wenig.

2.1.2. Anforderungsarten

Die Anforderungen können unterschieden werden in

- Festforderungen (ohne Toleranzbereich)
- Bereichsforderungen (Toleranzbereich, der unbedingt erfüllt werden muss)
  - Intervallforderungen (zulässiger Bereich „von ... bis ...")
  - Mindestforderungen (nur Überschreitung zulässig)
  - Maximalforderungen (nur Unterschreitung zulässig)
- Zielforderungen
- Wünsche
  - Explizite Wünsche (ausgesprochene Wünsche klar formuliert: „Geräuschabstrahlung möglichst reduzieren")

- Implizite Wünsche (nicht ausgesprochene „Selbstverständlichkeiten“, wie zum Beispiel leichte Bedienung für Rechts- und Linkshänder).

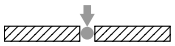
Hauptgruppe		Unterteilung	Beispiel
Festforderung (FF)		Punktforderung	Stahrahmen, 24-Gänge
Bereichs-forderung (BF)		Intervall-forderung	Spreizungsbereich der Übersetzung Mind. 12 Gänge Max. 3 kg
		Mindest-forderung	
		Maximal-forderung	
Zielforderung		Zielforderung	Etwa 6 cm Einfederung
Wunsch		Wunsch	Gepäckträger

Tabelle (T003konZ) Unterteilung der Anforderungsarten

Diese Unterteilung der Anforderungen ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Nichterfüllung der Fest- und Bereichsforderungen zum Ausschluss von Lösungen führt, die Zielforderung und Wünsche jedoch zur Bewertung der verbleibenden Lösungen herangezogen werden.

2.1.3. Ermittlung der Anforderungen

Eine möglichst vollständige Anforderungsliste bildet die Basis des Konzeptprozesses. Grundlagen hierzu bilden das Marktleistungs-Profil und das Pflichtenheft. Als weitere Quellen kommen in Frage:

- Gesetzesliteratur, Patente
- Analyse des Produktumfelds
- Analyse des gesamten Lebenszyklus, insbesondere der Handhabung
- Systemgrenzenverschiebung
- Mitarbeitergespräche
- Kunden-, Lieferantengespräche, -Befragung
- Wettbewerbsanalyse
- Service-Informationen, Beschwerde-Management
- Checklisten.

Einige Methoden unterstützen die Ermittlung und die Bereinigung der Anforderungsliste:

- Methode der Abstraktion
- Black-Box-Methode
- Checkliste
- die Analyse der Produktumgebung
- Systemgrenzenverschiebung
- die Lead-User-Methode.

Dies natürlich nur soweit, wie diese Methoden nicht schon im Markt-Leistungsprozess angewendet wurden.

2.1.4. Marktbezug, Kundenbesuch

Bei kundenindividuellen Produkten wie zum Beispiel bei Sondermaschinen gibt es in vielen Fällen direkte Kontakte zwischen den späteren Nutzern und den Entwicklern. Das Umfeld für das neue Produkt ist damit gut bekannt und kann entsprechend berücksichtigt werden.

Bei Serienprodukten sind die Kenntnisse bezüglich der späteren Produktnutzung oft aber nur mittelbar, weshalb eine der Realität entsprechende Vorstellung nicht immer gegeben ist.

Zwar lassen sich Bedingungen und Kundenwünsche durchaus schriftlich festhalten, sie können aber kein Ersatz für eigenes Erleben sein. Um dem Team den notwendigen Eindruck über den späteren Produkt-Einsatz und das Umfeld zu vermitteln, ist es von grossem Nutzen, mögliche zukünftige Standorte für das Produkt zu besichtigen und mögliche Kunden / Anwender kennen zu lernen. Eine solche Besichtigung vor Ort, verbunden mit einem Gespräch mit dem Kunden kurz vor dem Projektstart, ermöglicht dem Entwicklungsteam, unaufgedeckte Missverständnisse zu minimieren und ein persönliches „Gespür" auch für nicht explizit ausgesprochene Erfordernisse, Wünsche und Vorstellungen der Kunden zu bekommen.

Bei einer solchen Vorgehensweise soll hier auf die Gefahr eines widersprüchlichen Fazits hingewiesen werden, denn die Produktpositionierung erfolgt auf der Basis einer breiten Marktbeurteilung. Ein Besuch des Entwicklungsteams vor Ort hingegen gibt häufig eine individuelle, auf diesen Platz bezogene Meinung wieder, welche unbedingt relativ zu betrachten ist.

Ein Einblick in die Praxis der Produktanwendung soll genauso wie in Wartungs- und Instandsetzungssituationen regelmässig erfolgen.

2.1.5. Anforderungen strukturieren

Anforderungen lassen sich nach verschiedenen Sichten strukturieren:

- nach Fachdisziplinen
- nach technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Anforderungen
- nach Lebensphasen.

Eine Möglichkeit der Strukturierung ist:

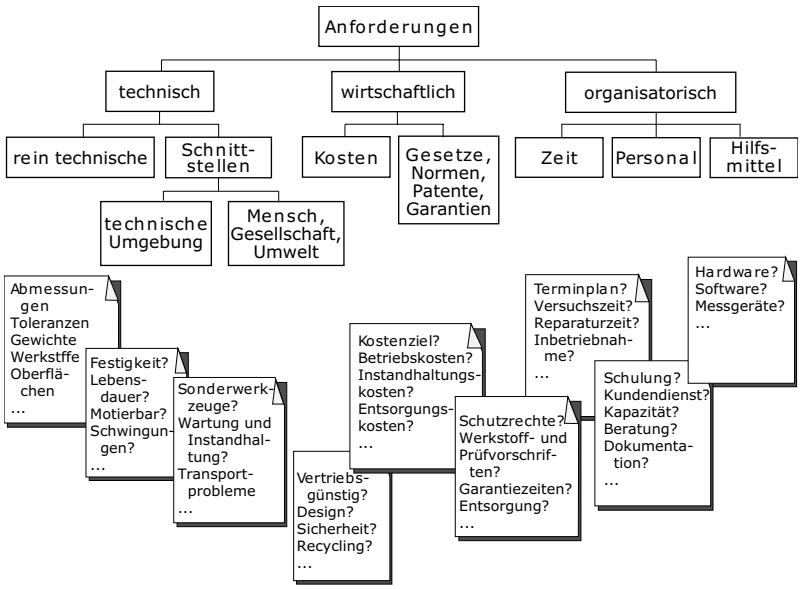


Bild (B009pdpM) Einteilung der Anforderungen

2.1.6. Anforderungen gewichten und Prioritäten bestimmen

Zusätzlich zur Strukturierung besteht vielfach der Bedarf Anforderungen zu gewichten. Dies dann, wenn z. B. Zielkonflikte in den Zielforderungen und Wünschen auftreten.

Eine Priorisierung der Anforderungen ist auch sinnvoll um die meist knappen Ressourcen der Entwicklung gezielt den Anforderungen zuzuordnen und dem Entwicklungsteam ein klares Bild der wesentlichen Punkte zu ermöglichen. Zur Bewertung und Priorisierung eignen sich die Methoden:

- Quality Function Deployment QFD
- Target-Costing
- Conjoint-Analyse
- Kano-Analyse

2.1.7. Anforderungsliste

Die Anforderungsliste enthält alle qualitativen und quantitativen Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt sowie sämtliche Bedingungen, die in der Produktentwicklung berücksichtigt werden müssen. Sie ist ein nach formalen Gesichtspunkten aufgebautes Dokument für die Produktentwicklung. Eine Anforderungsliste ist demzufolge eine:

- schriftlich formulierte
- möglichst vollständige
- möglichst quantifizierte
- strukturierte
- mit Prioritäten versehene
- durch organisatorische Hinweise ergänzte Sammlung der Anforderungen an ein Produkt.

Für einzelne Anforderungen können Spezifikationen abgeleitet werden. Spezifikationen enthalten Anforderungen, die im Sinne von Vorschriften einzuhalten sind. Diese Form ist besonders in Verbindung mit Zulieferern gebräuchlich. Die Freiräume für Entwicklung und Konstruktion sind deutlich eingeengt.

Anwendung der Anforderungsliste

Neben einem Arbeitshilfsmittel für die Folgeprozesse wird sie auch als Grundlage zur Beurteilung von Ideen und daraus abgeleiteten Varianten verwendet werden, indem zum Beispiel unterschiedliche Konzepte oder Entwürfe anhand der Erfüllung der Anforderungen miteinander verglichen werden. Daneben stellt sie auch eine verbindliche Vertragsgrundlage für Auftraggeber und Auftragnehmer dar.

Anforderungslisten werden sinnvollerweise mittels EDV-Unterstützung erfasst.

Grundsätzliche Vorteile der Arbeit mit Anforderungslisten sind:

- Ziel wird umfassend geklärt, bevor Folgekosten auftreten, Probleme und Schwerpunkte werden bewusst
- Informationsaustausch einfach, neue Mitarbeiter werden schnell auf einen Kenntnisstand gebracht, Einarbeiten nach längerer Pause erleichtert
- Anforderungen werden übersichtlich und komprimiert gespeichert, Computerunterstützung möglich und hilfreich (besonders bezüglich der Änderungsorganisation)
- Kunde/Auftraggeber und Entwickler verständigen sich auf gemeinsame Basis und verantworten sie

- Beurteilung von Varianten wird erheblich erleichtert durch Kriterien, die der Anforderungsliste entnommen werden
- Anforderungsliste kann Entscheidungsgrundlage für Produktabnahme sein

Die Anforderungsliste ist im Gegensatz zum Pflichtenheft ein dynamisches Dokument. Während der folgenden Teilprozesse des Entwicklungsprozesses wird die Liste ergänzt, modifiziert und vor allem konkretisiert. Soweit ein Einfluss auf das ursprüngliche Pflichtenheft vorliegt, natürlich in Absprache mit dem Marketing. Änderungen werden schriftlich dokumentiert mit

- Änderungsbeschreibung
- Verantwortlichkeit
- Datum

Aufbau der Anforderungsliste

Anforderungslisten werden vielfach nach folgender Struktur aufgebaut.

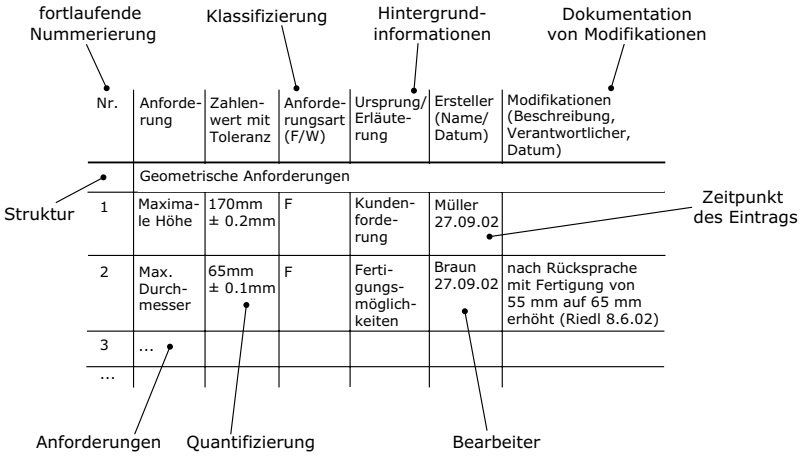


Bild (B010pdpM) Aufbau einer Anforderungsliste

2.1.8. Zielkonflikte

Anforderungen an ein neu zu entwickelndes Produkt widersprechen sich oft. Man spricht dann von so genannten Zielkonflikten, also „negativen Wechselwirkungen zwischen Anforderungen".

Von entscheidender Bedeutung ist, dass derartige Zielkonflikte bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung erkannt werden. In der Regel müssen Kompromisse gefunden werden.

In der Entwicklung können einige dieser Zielkonflikte / Widersprüche durch technische Innovationen aufgelöst werden. Die Forderung nach geringen Massen und geringem Bauraum verlangt zum Beispiel für die mechanische Leistungsübertragung eine schnell laufende Welle, da so die Drehmomente und damit der erforderliche Wellendurchmesser reduziert werden können.

In anderen Fällen werden Kompromisse erforderlich, die dann mit dem Auftraggeber rechtzeitig zu vereinbaren sind. Bei der Entwicklung von Sondermaschinen sollte dieses vor Abschluss des Vertrags erfolgen.

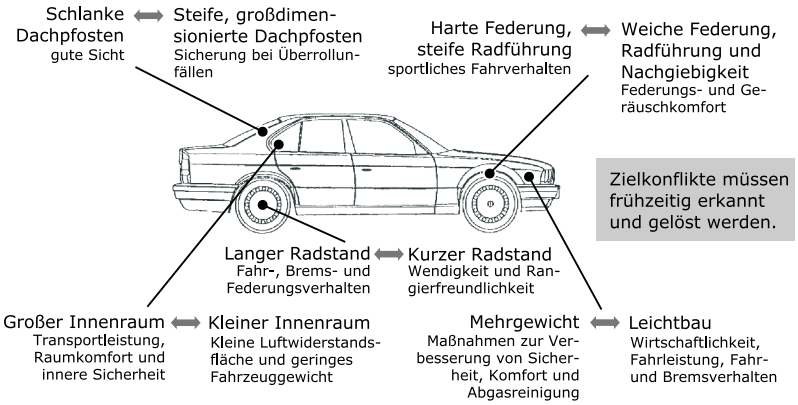


Bild (B027konZ) Zielkonflikte aus Anforderungen

2.2. Projekt, Projektplanung

Ein Projekt ist ein Vorhaben mit meist folgenden Eigenschaften:

- Einmalig
- Komplex
- Risikobehaftet
- Klar definiert durch eine Anforderungsliste
- Klar terminiert durch ein Anfangs- und ein Enddatum
- Ausgestattet mit begrenzten finanziellen Ressourcen
- Durchgeführt von einer begrenzten Anzahl Personen meist aus unterschiedlichen Unternehmenseinheiten.

Die Dauer eines Projektes reicht von wenigen Wochen bis zu mehreren Jahren, die Anzahl der Beteiligten von eins bis zu mehreren hundert, das Budget von wenigen Tausend bis hin zu mehreren Millionen.

Der Erfolg eines Projektes lässt sich am „Magischen Dreieck“ messen.

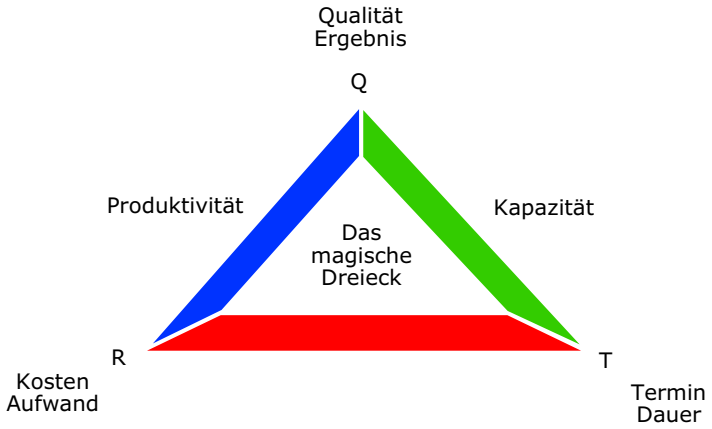


Bild (B012pdpM) Das Magische Dreieck

Die drei Ecken, Qualität, Ressourcen und Termine sind prinzipiell miteinander konkurrierende Aspekte des Projekts. Zu Beginn eines Projektes müssen sie aufeinander abgestimmt, während der Laufzeit des Projektes im Sinne des Controlling überwacht und bei Änderung der Anforderungen oder Randbedingungen der neuen Situation wieder angepasst werden.

Projekte befassen sich mit neuartigen und komplexen Systemen und beinhalten damit für das Unternehmen ein nicht zu unterschätzendes Risiko. Dieses Risiko wird begrenzt durch eine vorausschauende Planung, die es in der Folge auch umzusetzen gilt.

Das Endergebnis der Projektplanung ist ein Projektplan, der den Projektzielen und den Rahmenbedingungen der Beteiligten gerecht wird. Bei der Erstellung der Pläne kann man auf die Unterstützung durch Software zurückgreifen. Diese nehmen vorwiegend Berechnungsaufgaben ab, die geistige Leistung der Optimierung bleibt vom Anwender zu erbringen.

Die Intensität der Projektplanung ist stark von den verschiedensten Faktoren abhängig. Einerseits spielt die Bedeutung des Projekts für das Unternehmen im Sinne von Marktposition, Konkurrenzfähigkeit und Prestige eine Rolle, andererseits sind Projektgrösse und der damit verbundene Aufwand wichtig. Grossprojekte mit hoher Komplexität und einem ausgeprägten Pioniercharakter beinhalten immer auch ein sorgfältig abzuwägendes Risiko. Projekte mit drei Mitarbeitern und wenigen Monaten Dauer muss man sicherlich weniger ausführlich planen als Grossprojekte mit Beteiligung mehrerer Unternehmen, hundert Mitarbeitern und einer Laufzeit von mehreren Jahren. Grund-

sätzlich sind jedoch auch bei kleineren Projekten eine Projektplanung durchzuführen.

Was ist Planung? Planung ist die gedankliche Vorbereitung des zukünftigen Handelns, um dieses sinnvoll, zielorientiert, wirtschaftlich und effektiv zu gestalten. Ziel der Planung ist das effiziente und effektive Handeln.

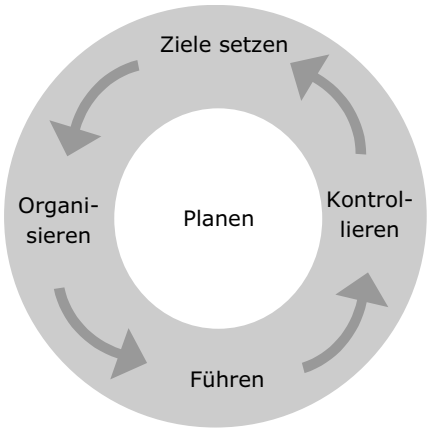


Bild (B028konZ) Projektplanung allgemein

Die wichtigsten Ergebnisse der Projektplanung sind

- Projektstrukturplan
- Ablaufplan (z. B. Netzplan)
- Terminplan
- Kostenplan
- Organisationsplan
- Kapazitätsplan
- Risikoplan
- usw.

Die Planung des Projekts findet intensiv vor Projektbeginn statt, muss aber während der Projektlaufzeit immer wieder überprüft werden. In begründeten Fällen kann es auch notwendig werden, die ursprüngliche Planung zu verändern bzw. den neuen Gegebenheiten anzupassen.

2.2.1. Projektstrukturplan

Der Projektstrukturplan (PSP) strukturiert das Projekt

- objektorientiert (OPSP)
  am Beispiel Fahrrad in
  - Rahmen
  - Antrieb
  - Lenker
  - …
- phasenorientiert (PPSP)
  am Beispiel Fahrrad in
  - Konzept-Prozess
  - Entwurfs-Prozess
  - …
- gemischt-orientiert
  am Beispiel Fahrrad in
  - Rahmen
    Konzept-Prozess
    Entwurfs-Prozess
    …
  - Antrieb
    Konzept-Prozess
    Entwurfs-Prozess
    …

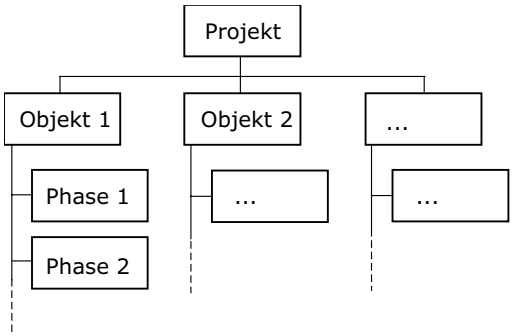


Bild (B903konZ) Projektstrukturplan

Ein Projektstrukturplan umfasst in der Regel mehrere Detaillierungsstufen und dient als Grundlage für die Ableitung und Definition von konkreten Arbeitspaketen.

2.2.2. Arbeitspakete

Von den untersten Struktureinheiten des Projektstrukturplanes werden die Arbeitspakete abgeleitet.

Definition: Ein Arbeitspaket ist eine in sich geschlossene Tätigkeit auf der Basis des Projektstrukturplans, eines definierten In- und Outputs, einer in der Regel klaren logischen Abhängigkeit zu vorhergehenden und nachfolgenden Arbeitspaketen, eines zugeordneten Zeitfensters. Es kann einer verantwortlichen organisatorischen Einheit zur Bearbeitung übergeben werden.

Projekt: xxxxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxxxx		AP-Nr. (Datum): xx.xx.xxxx
Ergebnis:		
Voraussetzung:		
Aktivitäten:		
Verantwortlicher:		
Aufwand: xx Stunden	MA: xxxxxxxx xxxxxxx	Termin: xx.xx.xxxx

Tabelle (T004konZ) Arbeitspaket

Die einzelnen Arbeitspakete werden bezüglich ihres Aufwands in Zeit, Personal und Finanzen geschätzt. Aufgrund der Neuartigkeit des Projektes ist dies nicht immer einfach. Als unterstützende Methoden bieten sich an:

- Analogieschlüsse mit früheren Projekten
- Befragung von Kollegen, Lieferanten
- Schätzungen, Berechnungen.

2.2.3. Projektablaufsplanung (Netzplan und Balkenplan)

In einem Netzplan werden die logischen Abhängigkeiten und die zeitliche Abfolge der Arbeitspakete dargestellt.

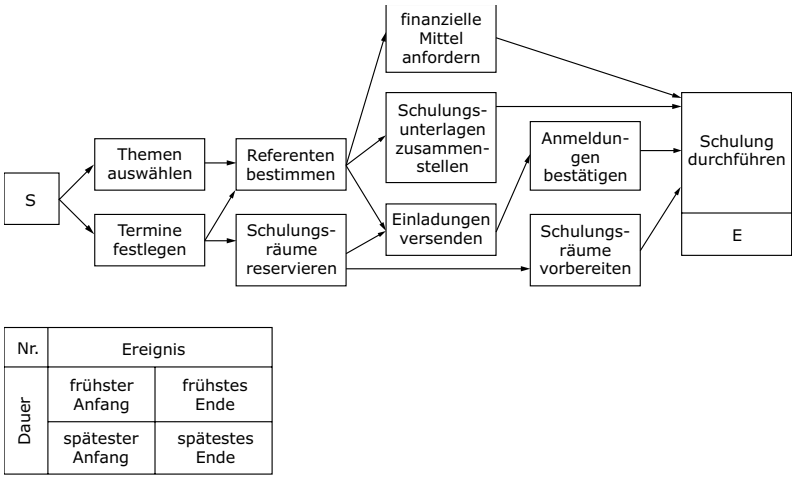


Bild (B100konz) Netzplantechnik (Quelle: http://www.symposion.de/images/gp_05ab15.gif)

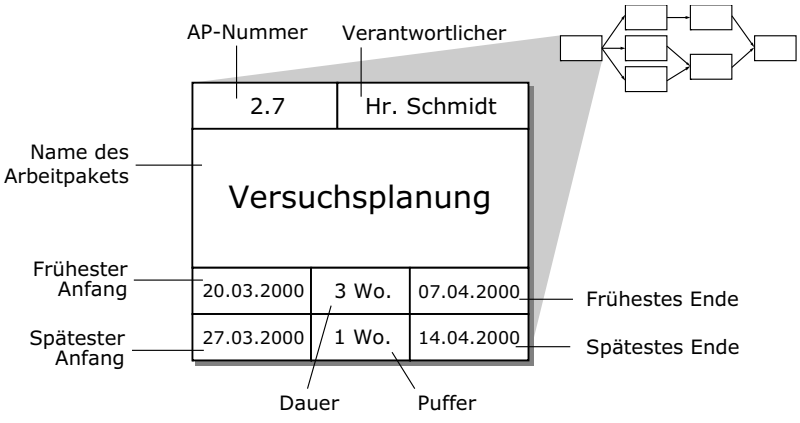


Bild (B018pdpM) Netzplan und einzelnes Arbeitspaket

Der Netzplan schafft Transparenz über den gesamten Projektablauf. Insbesondere sind daraus wichtige Zusammenhänge wie der kritische Pfad bzw. die Pufferzeiten einfach zu lesen.

Ein Puffer bedeutet, dass dieses Arbeitspaket ohne Gefährdung des Projektendtermins um die Pufferzeit später als der frühestmögli-

chen Termin begonnen werden kann bzw. bei Beginn zum frühestmöglichen Termin die Bearbeitung des Arbeitspakets um den Puffer länger dauern kann.

Der Kritische Pfad markiert die Vorgänge, die bei jeder Änderung in der Bearbeitungsdauer oder dem Bearbeitungszeitpunkt eine sofortige Wirkung auf den Endzeitpunkt des Gesamtprojektes haben.

Beim Erstellen des Netzplans geht man in folgenden Schritten vor:

- Die Arbeitspakete aus dem Projektstrukturplan in eine logische Reihenfolge bringen und Abhängigkeiten durch Pfeile markieren.
- Bisher bekannten Daten wie „AP-Nummer", „Verantwortlicher", „Name des Arbeitspakets" und „Dauer" in die Vorgangskästen eintragen.
- Vom Startzeitpunkt des Projekts angefangen die Daten für den „frühesten Anfang" und das „früheste Ende" in alle Vorgangskästen eintragen (Vorwärtsplanung).
- Vom „frühesten Ende" des letzten Arbeitspakets die Daten für „spätestes Ende" und „spätesten Anfang" in alle Vorgangskästen eintragen (Rückwärtsplanung).
- Den „Puffer" der einzelnen Vorgänge als Differenz zwischen dem „frühesten" und dem „spätesten" „Anfang" bzw. „Ende" errechnen.
- Den kritische Pfad (Kette der Vorgänge mit Puffer 0") einzeichnen.

Um die zeitliche Abfolge der Vorgänge in einfacherer Form darzustellen bedient man sich des Balkenplans. Dieser ist eine übersichtlichere Ausgabeform einzelner Elemente des Netzplans und zeigt die Vorgänge auf der Zeitachse.

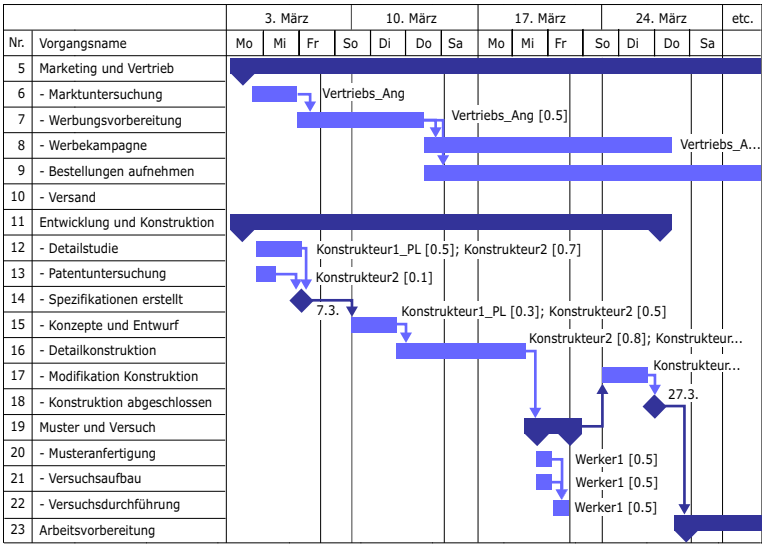


Bild (B030konZ) Balkenplan

2.2.4. Meilensteine

Abgeschlossen werden Projektphasen von so genannten Meilensteinen. Meilensteine sind Termine, zu denen Zwischenergebnisse des Projekts bzw. Endergebnisse einer Projektphase vorliegen und die Weiterführung des Projektes bzw. notwendige Massnahmen diskutiert werden. Diese Zwischenergebnisse müssen vorher eindeutig und überprüfbar festgelegt sein. Hierin sind wieder alle Aspekte des Magischen Dreiecks enthalten, d.h. der Meilenstein macht Aussagen über die Qualität (Umfang, Dokumentation), den Zeitpunkt und die Kosten.

Vorgänge werden durch einen Balken symbolisiert, Meilensteine durch Rauten. Die Abhängigkeiten der Vorgänge und Meilensteine sind durch Pfeile dargestellt.

Die Ergebnisse werden anlässlich Meilenstein-Meetings präsentiert und die Erfüllung der Meilensteinanforderungen geprüft. Des weiteren ist dies auch der Zeitpunkt, um Entscheidungen über das weitere Vorgehen im Projekt zu treffen. Dies sind insbesondere Entscheidungen ob oder ob nicht oder mit welcher Anpassung das Projekt weitergeführt wird (go/nogo), Entscheidungen fachlicher, planerischer oder

personeller Natur. Solche Entscheidungen sind besonders dann zu treffen, wenn das Zwischenergebnis nicht den Meilensteinanforderungen entspricht. Für diese oft schwerwiegenden Entscheidungen ist es von besonderer Bedeutung, die Anforderungen an die Meilensteine überprüfbar und unmissverständlich zu formulieren sowie das Gremium zu definieren, welches diese Entscheidung zu fällen hat (meist Lenkungsausschuss).

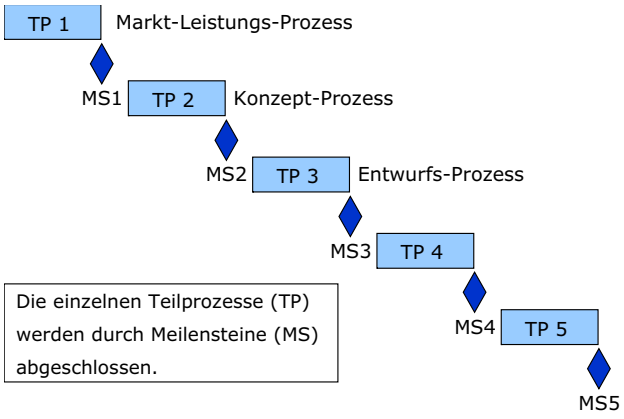


Bild (B020pdpM) Projektablauf

2.2.5. Kapazitätsplanung

Die Kapazitätsplanung weist den einzelnen Arbeitspaketen Personen zu. In den meisten Fällen werden mehrere Projekte parallel durchgeführt und die Mitarbeiter arbeiten an mehreren Projekten, d.h. bei der Planung des aktuellen Projektes müssen Informationen über die freien Kapazitäten der Mitarbeitenden zur Verfügung stehen.

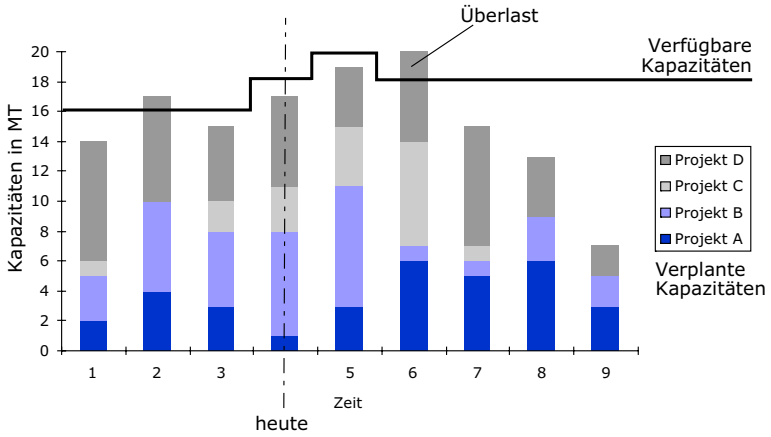


Bild (B019pdpM) Kapazitätsplan

2.2.6. Aufwandsplanung

Der Aufwandsplan beinhaltet die Kostenpositionen in Tabellenform gelistet als Funktion der Zeit. Unter Aufwand versteht man Mitarbeiterlöhne, externen Dienstleistungen, Infrastruktur, Material (Werkstoffe, Werkzeuge, Verbrauchsmaterial etc.) und vieles mehr.

2.2.7. Planungsoptimierung

Das Ergebnis des ersten Planungszyklus ist selten zufriedenstellend. Der Zieltermin des Projektes wird nicht erreicht, Projektmitarbeiter sind zu stark oder schwach bzw. ungleichmässig ausgelastet, die Kosten des Projektes sind zu hoch. Die Aufgabe der Projektplanung ist es nun, den ursprünglichen Projektplan in Iterationsschritten zu optimieren.

- Sind alle Arbeitspakete essentiell oder kann man Teile davon kürzen?
- Kann man Prozesse oder Arbeitspakete weiter unterteilen und parallelisieren?
- Sind Vorgänge verschiebbar um die Auslastung der Mitarbeiter zu harmonisieren?
- Kann man weitere Mitarbeiter gewinnen?
- Sind Einzelkosten reduzierbar oder kann man finanzielle Mittel erst später in Anspruch nehmen?
- ...?

Dieser Optimierungsprozess bedarf einigen Kombinierungsgeschicks und evtl. mehrerer Iterationsschritte. Ist die Projektzielsetzung nicht erreichbar, muss eine Anpassung der Ziele erfolgen.

2.2.8. Simultaneous Engineering

In den seltensten Fällen ist für die Bearbeitung des Projektes so viel Zeit vorhanden, wie die Summe der Einzelzeiten der Teilprozesse ergeben würde. Deshalb versucht man durch Parallelisierung der Aktivitäten nicht nur innerhalb der Teilprozesse sondern auch durch Überlappung der Teilprozesse den Ablauf zu beschleunigen. Die nachfolgenden Teilprozesse beginnen bereits bevor die vorhergehenden Teilprozesse abgeschlossen sind. In vielen Fällen muss man sich auf nicht abgesicherte Sachverhalte stützen und damit Entscheidungen vorgreifen. Dies ist immer mit der Gefahr verbunden, dass bei einer anders lautenden Entscheidung der Zeitvorteil wieder verspielt ist. Dies ist jedoch grundsätzlich das Dilemma des Handelns unter Zeitdruck.

Dieser methodische Ansatz der Parallelisierung ist in der industriellen Praxis unter den Begriffen Simultaneous Engineering (SE) oder auch Concurrent Engineering (CE) bekannt. Simultanes und paralleles Handeln wird hier angesprochen. Die Begriffe werden häufig synonym genutzt.

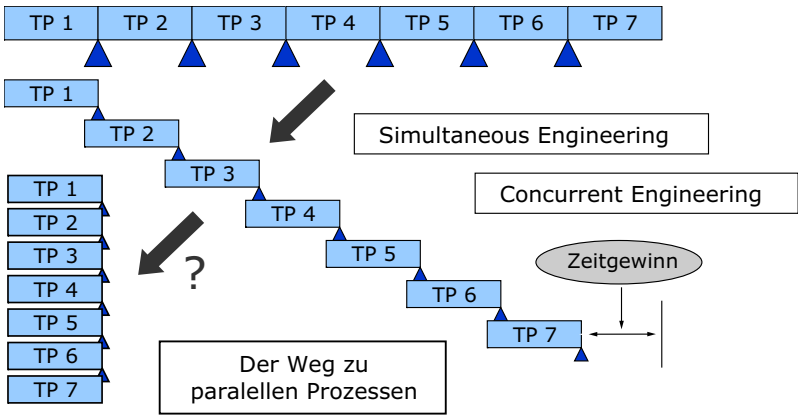


Bild (B021pdpM) Parallelisierung von Projektphasen

2.2.9. Kick-off-Meeting, Meilenstein-Meeting

Für den Übergang von einem Prozess zum nächsten ist ein geordnetes Vorgehen von grosser Bedeutung. Bisherige Informationen, Einschätzungen und Erfahrungen müssen an das neue Projektteam weitergegeben werden.

Die Teammitglieder vertiefen sich individuell in die Dokumentation des Vorprozesses. Dabei werden Notizen gemacht und Fragen gestellt, damit möglichst alle Unklarheiten eliminiert werden.

Der Start grösserer Prozessabschnitte erfolgt durch so genannte Kick-off-Meetings. Der Abschluss von Teilabschnitten und der Übergang von einem Teilprozess zum Nächsten durch Meilensteinmeetings.

Der Teamleiter lädt die Mitglieder zum Meeting ein, vorzugsweise auch mindestens ein Mitglied aus dem Team, das die letzte Arbeitsphase durchgeführt hat. Vielfach übernimmt hier auch ein externer Coach die Funktion des Sitzungsmoderators. Sinnvoll ist dies auch deshalb, weil es häufig nicht nur um sachliche Fragen zum besseren Verständnis geht, sondern auch erkannt werden muss, inwiefern Widerstände existieren oder negative Teammeinungen, Stimmungen vorhanden sind. Das Kick-off-Meeting muss eine perfekte Stabsübergabe von dem einem motivierten Team zum nächsten sein. Während des Meetings werden die noch offenen Fragen beantwortet und Modifikationen des neuen Prozess-Auftrags festgehalten. Es ist damit auch nahe liegend, dass im Anschluss an dieses Meeting der Inhalt des neuen Prozess-Auftrags (die Anforderungsliste) entsprechend ergänzt und korrigiert wird.

Die Meetings werden professionell vorbereitet. (Siehe Sektion Organisation und Moderation.)

Eine personelle Verflechtung der Teams in den verschiedenen Folgeprozessen ist dringend zu empfehlen.

2.3. Kommunikationskonzept

Ein willkürlicher Aspekt jedes Projektes ist ein definiertes Kommunikationskonzept (siehe auch Sektion in „Organisation"). Schon früh wird festgelegt:

- wer die Empfänger der Kommunikation sind
- wie für sie kommuniziert wird
- wann für sie kommuniziert wird
- durch welchen Informationskanal für sie kommuniziert wird
- welche Werkzeuge eingesetzt werden sollen.

Bei den Empfängern werden unterschieden:

- interne Kommunikationspartner wie:
  - Verwaltungsrat
  - Geschäftsleitung
  - betroffene Mitarbeiter/-innen der Unternehmung
- externe Kommunikationspartner wie:
  - Kunden
  - Lieferanten
  - Gesellschaft bzw. Presse.

Als Kanäle können:

- Newsletter
- Meilensteintreffen
- E-Mail
- Homepages
- Anschläge
- Zeitschriften (intern, extern)
- Radio, Fernsehen
- Messen

benutzt werden. Für jede Empfängergruppe wird der oder die Kanäle und die zeitliche Staffelung festgelegt. Je nach Kanal kann es sich um eine Push- Information (z. B. E-Mail) oder „Pull-Information" (z. B. Homepage) handeln.

Innerhalb des Entwicklungsteams existiert selbstverständlich ebenso ein sorgfältig definiertes Kommunikationskonzept. Dazu eignen sich neben den definierten Meetingprotokollen auch moderne Kommunikationsserver wie z. B BSCW, Lotus-Notes, First-class, ViewShare, oder aber Product-Data-Management-Software, die auch später im Entwicklungskonzept grosse Bedeutung hat.

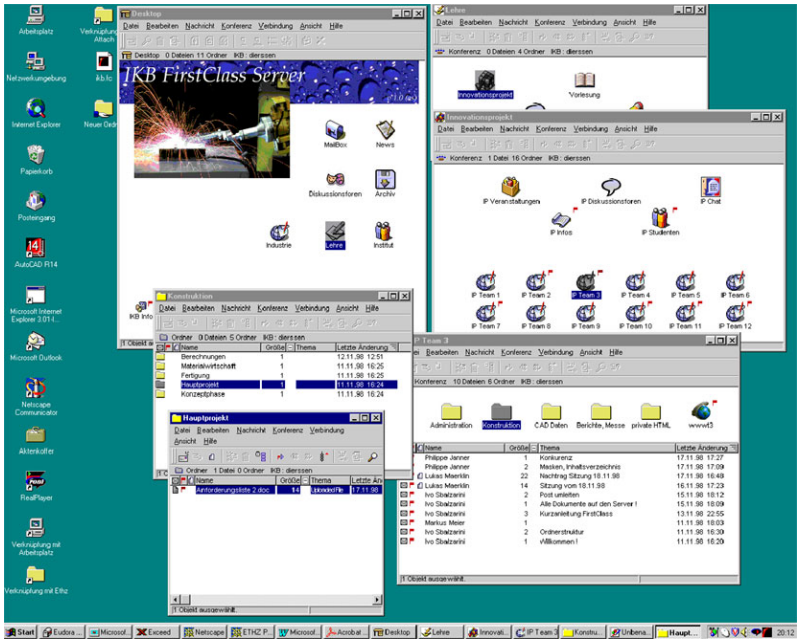


Bild (B031konZ) Screen- Shots einer Kommunikationsumgebung (First-Class)

Bild (B032konZ) Regelmässige Projektbesprechung (Scintilla AG)

3. Funktionsgliederung

Was im Inneren eines Produkts tatsächlich abläuft, wird mit der Gesamtfunktion bzw. mit den Teilfunktionen beschrieben.

Die Beschreibung eines Produktes kann durch ein Aufzählen der Funktionen (Funktionsliste) oder als Netzwerkdarstellung von Teilfunktionen (Funktionsstruktur) vorgenommen werden.

Eine Funktionsbeschreibung ist zwar eine abstrakte Beschreibung, jedoch von besonderem Nutzen [Pahl, Beitz 1993]. Eine zu frühe Festlegung von Teillösungen wird vermieden. Gleichzeitig eröffnet die Formulierung von Teilfunktionen ein weites Lösungsfeld. Die funktionale Produktbeschreibung kann zudem die Komplexität der konstruktiven Aufgabenstellung reduzieren, indem sie das Gesamtsystem in einfachere Teilsysteme strukturiert.

Eine Funktionsbeschreibung kann sowohl von einem vorliegenden realen Produkt ausgehen (Funktionsanalyse), als auch für eine neue Produktidee erarbeitet werden [Birkhofer 1980]. Schon geringe Variationen in der Funktionsstruktur können in grundsätzlich verschiedene Produkte resultieren.

Die Beschreibung der Funktionen kann in normierter Darstellung als auch in nicht normierter Darstellung erfolgen.

Die Funktionsträger (Bauteile, Komponenten usw.) erfüllen allerdings ihre Funktion nicht exakt. Aufgrund von Nebeneffekten (z.B. Reibung, Erwärmung, Schwingungen) sowie Bauteil- und Materialeigenschaften (Masse, Elastizität, Dämpfung) weicht ihr reales Verhalten von der idealen Funktion ab. Während der Entwicklungsarbeit muss also immer klar zwischen Funktion und Verhalten unterschieden werden.

3.1. Bedeutung einer Funktionsmodellierung

Die Funktionsmodellierung hat sowohl für den Kunden als auch für den Hersteller und hier speziell für den Produktentwickler eine besondere Bedeutung.

Für den Kunden wird durch eine Funktionsbetrachtung sichergestellt, dass das Produkt den Produktzweck erfüllt.

Für den Hersteller ist das Arbeiten mit Funktionen zumindest bei Neu- und Anpassungskonstruktionen hilfreich. Da jede Funktion mit unterschiedlichen Lösungen realisiert werden kann, birgt die Funktionsbetrachtung ein erhebliches Potential zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung in sich.

- Welche Lösungen gibt es für die zu realisierenden Funktionen?

- Welche dieser Lösungen erfüllen am besten die Kundenforderungen und -wünsche?
- Welche Lösungen sind für das Unternehmen hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität optimal?
- Welche Funktionsstruktur ist vorteilhaft?

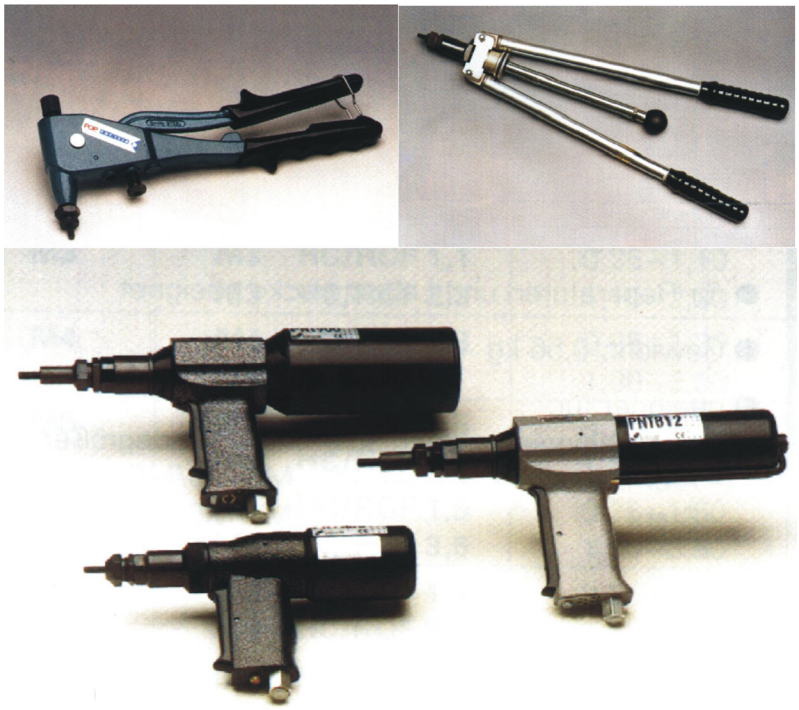


Bild (B806konD) Unterschiedliche Lösungen für die gleiche Funktion „Blindniete vernieten" (Quelle: www.tocafix.ch)

Eine Funktionsmodellierung beschreibt das Produkt auf einer lösungsneutralen Betrachtungsebene und vermeidet damit das Denken in eingefahrenen Lösungen. Sie führt die Aufgabenstellung auf ihren eigentlichen Kern zurück und ist die Grundlage für eine umfassende Lösungsermittlung.

Die Funktionsbetrachtung ist hilfreich

- zur Vermeidung von Vorfixierungen und eingefahrenen Denkmustern
- zur Strukturierung einer unübersichtlichen Gesamtfunktion in einfachere, leichter zu bearbeitende Teilfunktionen
- als Grundlage für die Verknüpfung von Lösungen in Wirk- und teilweise Baustrukturen

- als „Wegweiser" für das Zuordnen und Optimieren von Lösungen
- zum Erkennen und Priorisieren von Entwicklungsschwerpunkten (z.B. schwierig zu realisierende oder besonders wichtige Teilfunktionen)
- zur Minimierung des Aufwandes bei der Realisierung eines Produkts (Prinzip Minimalstruktur)
- bei Funktionskostenanalysen zur Überprüfung der Kostenstruktur,
- bei der weiteren Lösungssuche mit Lösungssammlungen, Konstruktionskatalogen oder bei der systematischen Lösungsentwicklung
- bei der disziplinübergreifenden Lösungssuche (mechanische, elektrische und Softwarelösungen).

3.2. Produktfunktionen und ihre Darstellung

Der Prozess, der von einem Produkt erfüllt wird, kann als definierte Änderung eines Anfangszustandes in einen Endzustand betrachtet werden. Die Ein- und Ausgangsgrössen sind bei Maschinenbauprodukten meist Stoff-, Energie- und Signalflüsse. Die Ausgangsgrössen werden im Produkt aus den Eingangsgrössen durch eine oder mehrere Transformationen erzeugt, die vom Entwickler so gewollt sind.

Die funktionale Betrachtung eines Produkts ist eine lösungsneutrale Beschreibung. Es wird dabei ganz bewusst ausser acht gelassen, durch welche physikalischen Effekte und Wirkprinzipien diese Transformation realisiert wird, um so den Lösungsraum nicht unzulässig einzuschränken.

Definition: Eine Funktion ist eine lösungsneutrale Beschreibung als Operation des gewollten Zusammenhangs zwischen Ein- und Ausgangsgrössen.

Zur Beschreibung von Funktionen werden häufig Funktionsmodelle in der Black-Box-Darstellung genutzt, die aus der Systemtechnik stammen [Daenzer 1999]. Die jeweiligen Stoff-, Energie- oder Signaltransformationen ergeben sich dabei kausal aus dem Unterschied zwischen den Eigenschaften der Eingangs- und Ausgangsgrössen. Die eigentliche Funktion wird verbal beschrieben, indem die Eingangsgrösse und die Operation (Art der Veränderung) angegeben wird, z. B. „Energie leiten".

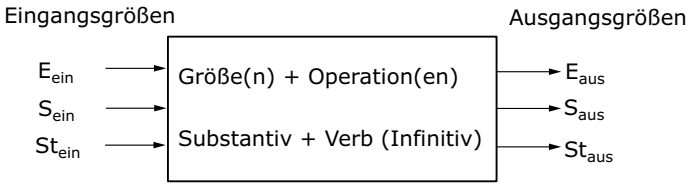


Bild (B807konD) Funktionsdarstellung im Black-Box-Modell
E: Energie, S: Signal, St: Stoff

Beispiel:

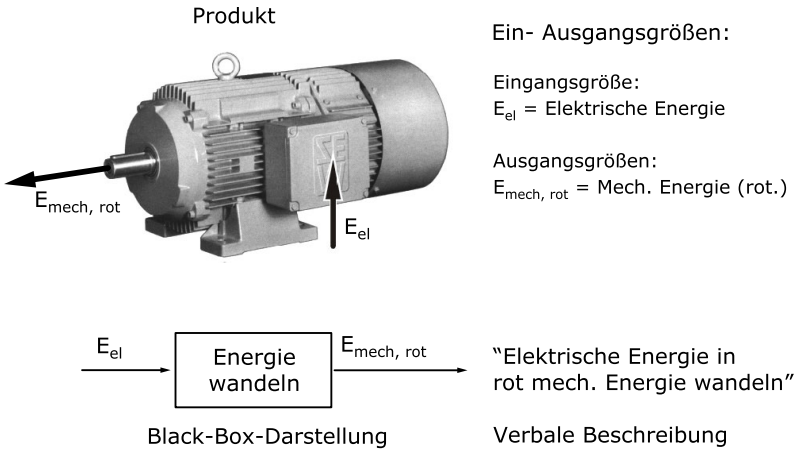


Bild (B808konD) Funktion eines Elektromotors in Black-Box-Darstellung
(Quelle: www.sew-eurodrive.de)

Eine systemtechnisch begründete Funktion ist demnach eine lösungsneutrale Beschreibung des gewollten Zusammenhangs zwischen Ein- und Ausgangsgrössen im Black-Box-Modell durch Angabe der Grösse(n) und Operation(en), evtl. ergänzt durch präzisierende Attribute oder Adjektive. Die Operationen werden dabei durch Substantiv und Verb (Infinitiv) beschrieben.

Mit systemtechnisch begründeten Funktionen lassen sich viele Produkte einheitlich beschreiben.

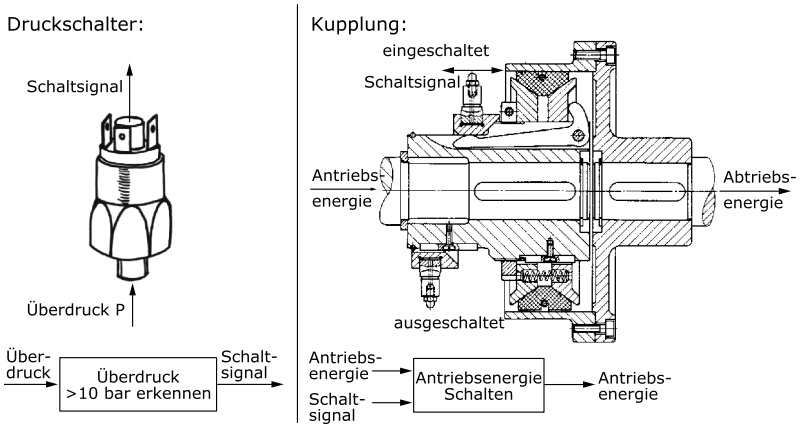


Bild (B809konD) Funktionen von Produkten im Black-Box Modell; links: Druckschalter; rechts: Kupplung

3.3. Funktion und Verhalten

Reale Produkte und ihre Bauteile sind toleranz- und massebehaftet und weisen elastische, oft auch dämpfende Eigenschaften auf. An den Berührungsflächen zwischen Bauteilen tritt Reibung auf, die zu Energieverlusten und Verschleiss führt. Bei Temperaturänderungen können sich Abmessungen und Werkstoffeigenschaften ändern.

Diese Effekte führen dazu, dass die tatsächlich mess- bzw. beobachtbare Ausgangsgrösse von der gewünschten Ausgangsgrösse abweicht und zusätzlich unbeabsichtigte Nebenwirkungen auftreten. Die Nebenwirkungen wiederum können ebenso wie unbeabsichtigte Eingangsgrössen als Störgrössen wirken und ebenfalls die Ausgangsgrösse beeinflussen.

Definition: Das Verhalten ist die Beschreibung eines beobachteten oder gemessenen Zusammenhangs zwischen Ein- und Ausgangsgrössen beim Wirken eines realen Produkts.

Das reale, teilweise auch unerwünschte Verhalten eines Produkts kann sich mehr oder weniger von seiner gewollten Funktion abweichen. Funktion und Verhalten müssen deswegen also deutlich unterschieden werden.

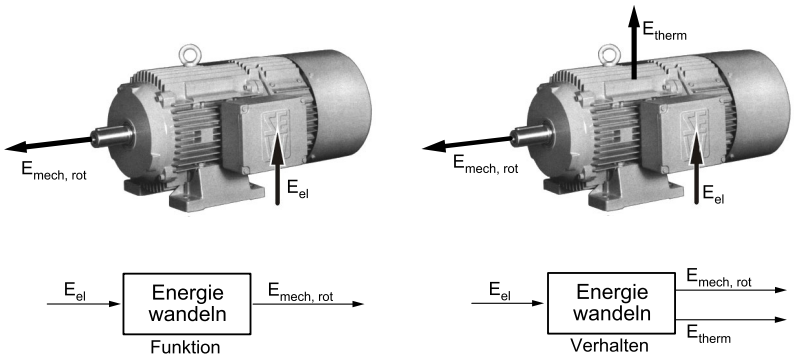


Bild (B810konD) Funktion und Verhalten eines Elektromotors

Beim Konzipieren neuer Produkte werden (gewollte) Funktionen als Grundlagen für eine zweckmässige Lösungszuordnung betrachtet. Die Analyse des Verhaltens wird notwendig, wenn den Funktionen Lösungen zugeordnet werden und deren Wirken hinsichtlich der jeweiligen Aufgabenstellung beurteilt werden soll.

Das Verhalten führt konsequenterweise wieder zu neuen Anforderungen bzw. Nebenfunktionen (z.B. Wärme abführen).

3.4. Gesamtfunktion, Teilfunktionen und Funktionsstruktur

Produkte, die gegenüber ihrer Umgebung abgegrenzt sind, erfüllen eine Gesamtfunktion.

Definition: Eine Gesamtfunktion beschreibt die Transformation von Grössen durch ein Produkt insgesamt.

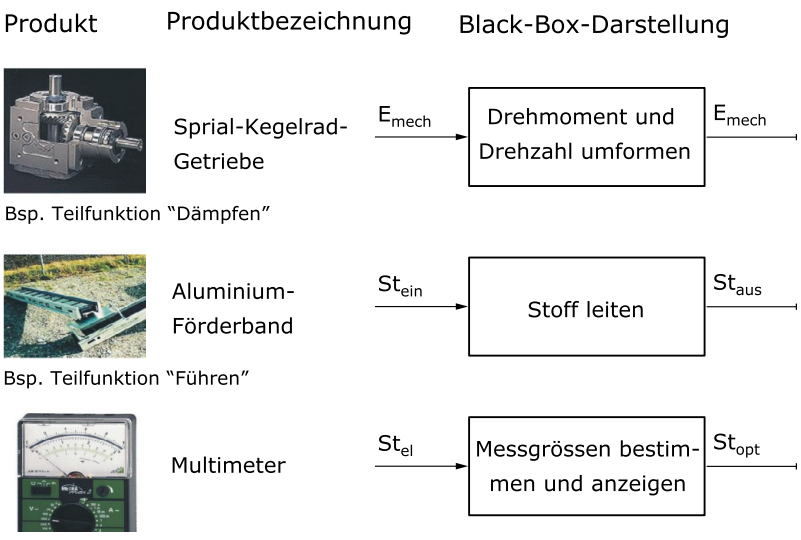


Bild (B811konD) Beispiele für Produkte und ihre Gesamtfunktin, Beispiele für Teilfunktionen (Quelle: www.gmc-instruments.com)

Komplexe Gesamtfunktionen können meist in einfachere Teilfunktionen aufgespaltet werden.

Definition: Teilfunktionen sind Elemente der Gesamtfunktion und tragen durch ihr Zusammenwirken zum Erfüllen der Gesamtfunktion bei.

Teilfunktionen können als Funktionsliste und als Funktionsstruktur dargestellt werden.

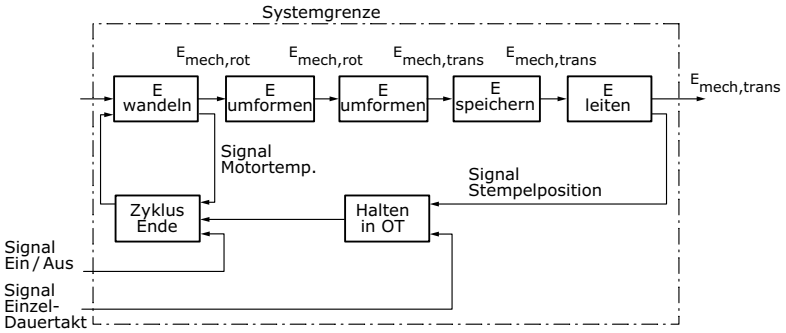


Bild (B814konD) Gesamtfunktion, Funktionsstruktur, Funktionsliste

Als Funktionsliste stellen sie eine Auflistung von Teilfunktionen dar, die zum Erfüllen der Gesamtfunktion erforderlich sind. Das Aufstellen einer derartigen Teilfunktionsliste kann helfen, eine komplexe Gesamtfunktion besser zu verstehen und Realisierungs-Chancen sowie Realisierungs-Probleme zu erkennen.

Kann man eine Gesamtfunktion als Black-Box mit den entsprechenden Ein- und Ausgangsgrössen darstellen, kann es oft hilfreich sein, sie in ihre Teilfunktionen partitiv zu zergliedern und deren Verknüpfungen mit Hilfe der Ein- und Ausgangsgrössen darzustellen. Auf diese Weise erhält man die Funktionsstruktur.

Definition: Eine Funktionsstruktur ist die Gesamtheit aller dargestellten Teilfunktionen und deren logischen Verknüpfungen. Sie wird von der Produktumgebung durch die Systemgrenze abgegrenzt.

Definition: Die Systemgrenze umfasst die in einem System enthaltenen Teilfunktionen. Funktionen ausserhalb der Systemgrenze werden nicht in einem Produkt realisiert.

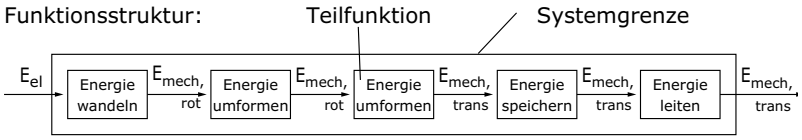


Bild (B813konD) Einfache Funktionsstruktur mit Teilfunktionen in Reihenschaltung (Antrieb der Ansetzmaschine), umschlossen von der Systemgrenze

Sind mehrere Eingangs- und/oder Ausgangsgrössen oder interne Verzweigungen bzw. Rückführungen (Regelung) vorhanden, ergeben

sich Funktionsstrukturen in Form von Funktionsbäumen oder Funktionsnetzwerken.

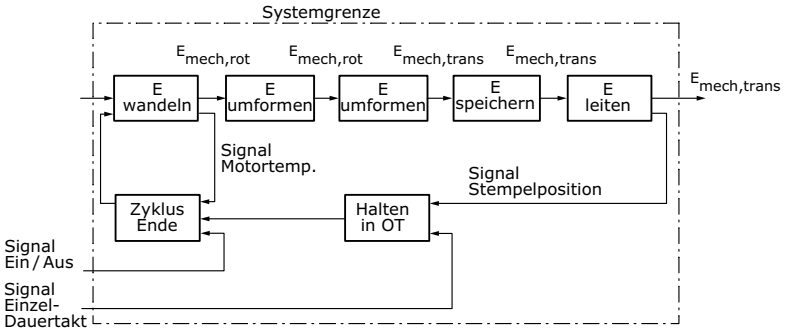


Bild (B814konD) Funktionsstruktur mit Teilfunktionen in einem Funktionsnetzwerk

Die Gesamtfunktion eines Produktes kann in der Regel durch unterschiedliche Funktionsstrukturen erfüllt werden. Die einfachste Funktionsstruktur wird Minimalstruktur genannt. Sie sollte bei Neuentwicklungen immer die Grundlage einer systematischen Konzepterarbeitung sein.

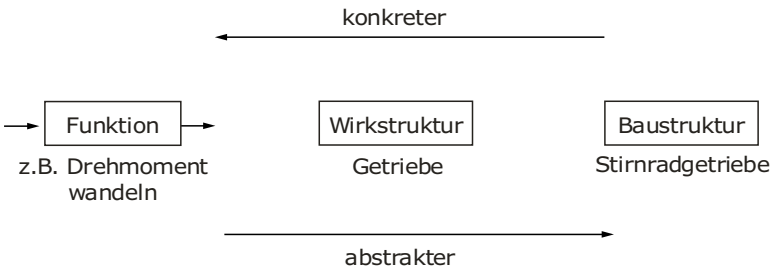


Bild (B815konD) Funktionsstrukturen, Wirkprinzipienund Baustruktur

3.5. Funktionen beschreiben

Funktionen können mit nicht normierten und normierten Darstellungen beschrieben werden [Birkhofer 1980].

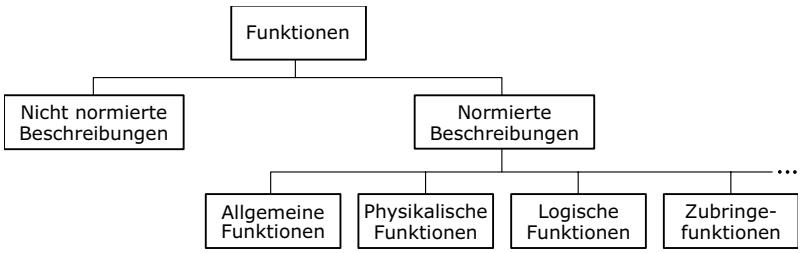


Bild (B816konD) Beschreibungsformen von Funktionen

3.5.1. Nicht normierte Funktionsbeschreibungen

Definition: Nicht normierte Funktionen sind Beschreibungen im allgemeinen oder im technischen Sprachgebrauch, die keiner Norm bzw. keinem Standard unterliegen.

Beispiele für nicht normierte Funktionsbeschreibungen (z. T. auch pragmatische Funktionsbeschreibung genannt):

- Lasten transportieren
- Innenraum heizen
- Zählimpuls registrieren

Nicht normierte Funktionen sind insbesondere zur Beschreibung von Produktkomponenten hilfreich, in denen vor allem Kräfte und Momente ohne eigentlichen Energiefluss umgesetzt werden. Typische Beispiele sind Stütz-, Lagerungs-, Spann- oder Führungsfunktionen.

Vorteile	Nachteile
• Die Formulierung ist jedermann geläufig. • Sie kann leicht an die jeweilige Aufgabe und Branche angepasst werden. • Sie ist sofort ohne Lernaufwand anwendbar. • Sie erleichtert insbesondere Anfängern den Umgang mit funktionalen Beschreibungen. • Sie ist zum Beschreiben von statischen Aufgaben sehr hilfreich	• Die Anzahl möglicher Formulierungen ist sehr gross. • Es können Definitions- und Kommunikationsprobleme auftreten – z. B. beim Unterscheiden zwischen Begriffen wie: „Drehen“, „Schwenken“, „Rotieren“, „Neigen“, „Kippen“. • Der Aufbau von Verfahrens- und Lösungssammlungen für konkrete Funktionen ist nur sehr begrenzt realisierbar.

Tabelle (T005konZ) Vor- und Nachteile von nicht normierten Funktionsbeschreibungen

3.5.2. Normierte Funktionsbeschreibungen

Die Nachteile waren für einige Autoren der Entwicklungsmethodik [VDI-2221 1993 (1)], [VDI-2222 1996 (1)], [Pahl, Beitz 1993 (1)], [Roth 1994 (1)] der Anlass, normierte Funktionsbeschreibungen vorzuschlagen, mit denen ein Grossteil der Funktionen technischer Produkte auf einem einheitlichen Standard beschrieben werden kann.

Definition: Normierte Beschreibungen von Funktionen basieren auf der Systemtechnik und verwenden standardisierte Grössen und Operationen zum Beschreiben von Grössentransformationen.

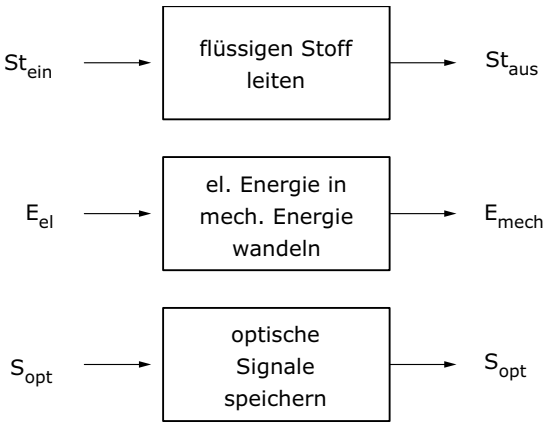


Bild (B817konD) Beispiele für normierte Funktionen

Als Grössen kommen je nach Art der Aufgabenstellung allgemeine, physikalische, logische oder branchenspezifische Grössen zum Einsatz. Die Operationen werden entsprechend der Art des Zusammenhangs zwischen Ein- und Ausgangsgrössen festgelegt. Meist werden folgende grundsätzliche Fälle unterschieden:

- Die Eingangsgrössen werden zu einer Ausgangsgrösse (summativ) verknüpft.
- Die Eingangsgrösse wird in die Ausgangsgrössen (distributiv) getrennt.
- Die Eigenschaften der Eingangsgrössen werden in diejenigen der Ausgangsgrössen geändert
- Die Eigenschaften der Eingangsgrössen werden erhalten, Ein- und Ausgangsgrössen sind gleich

Vorteile	Nachteile
• Die Beschreibungen sind definiert. • Es gibt nur eine begrenzte Anzahl von Beschreibungen. • Es können dafür weitgehend vollständige Lösungssammlungen erstellt werden. • Unterschiedliche Produkte können mit den gleichen Beschreibungen dargestellt werden. Dies erleichtert das Erkennen von Ähnlichkeiten zwischen Produkten.	• Die Anwendung muss erlernt werden und ist gewöhnungsbedürftig. • Durch die Abstraktion der Beschreibungen kann ein Verlust an Anschaulichkeit auftreten. • Die Vielfalt funktioneller Beziehungen in technischen Produkten kann durch die Reduktion auf relativ wenige normierte Beschreibungen zu Unklarheiten, Auslegungs- und Verständnisproblemen führen.

Tabelle (T006konz) Vor-und Nachteile normierter Funktionsbeschreibungen

Normierte Funktionen sind also für bestimmte Anwendungsbereiche einzusetzen. Im folgenden werden vier gebräuchliche, normierte Funktionsbeschreibungen vorgestellt:

- Allgemeine Funktionen
- Physikalische Funktionen
- Logische Funktionen
- Zubringfunktionen

Allgemeine Funktionen

Eine verbreitete Funktionsbeschreibung [Pahl, Beitz 1993 (1)], [Roth 1994 (1)] definiert Allgemeine Funktionen. Sie ermöglichen die funktionale Darstellung beliebiger technischer Produkte, in denen Stoff-, Energie- und/oder Signalflüsse auftreten.

Definition: Allgemeine Funktionen beschreiben die Transformation der Allgemeinen Grössen Stoff, Energie und Signal mit definierten Operationen.

Die Allgemeinen Grössen Stoff, Energie und Signal (bei anderen Autoren auch Information oder Nachricht) werden in der Funktionsdarstellung in der Regel konkret benannt, z. B. „kaltes Wasser", „Wechselstrom-Energie" oder „Ein-Aus-Signal".

Stoff (Gestalt- und Werkstoffeigenschaften)	Energie (energetische Eigenschaften)	Signal (signaltechnische Eigenschaften)
Werkstücke, Bandmaterial, Schüttgut, Fliessgut, Flüssigkeiten, Gase usw.	Mechanische Energie (Kräfte, Momente, Bewegung), hydraulische Energie, pneumatische Energie, thermische Energie, elektr. Energie usw.	Mechanische Signale, elektrische Signale, thermische Signale usw. Beschriftungen, Anzeigen, digitale / analoge Signale usw.

Tabelle (T007konD) Allgemeine Grössen mit Beispielen

Die Allgemeinen Operationen sind entsprechend dem Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrössen normiert. Sie werden hier aus Gründen der Einheitlichkeit als Black-Boxes dargestellt und nicht als eigene Symbole wie von Roth [Roth 1994 (1)] vorgeschlagen.

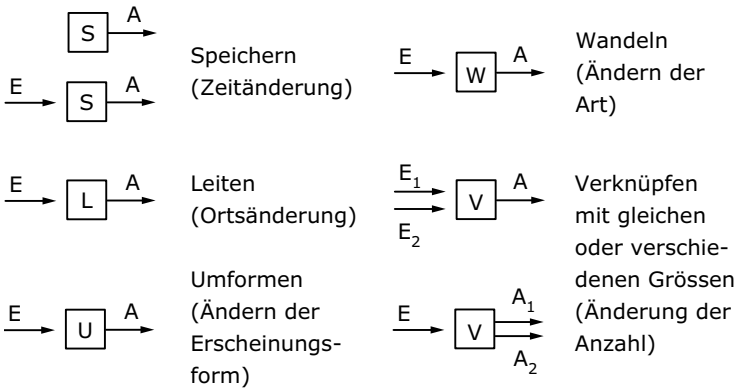


Bild (B818konD) Allgemeine Operationen, allgemeine Funktionen und Symbole (E = Eingang, A = Ausgang)

Mit allgemeinen Funktionen lassen sich praktisch alle technischen Produkte beschreiben, in denen ein Stoff-, Energie- bzw. Signalfluss stattfindet. Ist dies nicht der Fall, z. B. bei statisch beanspruchten Produkten wie bei einem Stuhl, einem Gestell oder einem Träger ist diese Funktionsbeschreibung wenig hilfreich und sollte nicht eingesetzt werden.

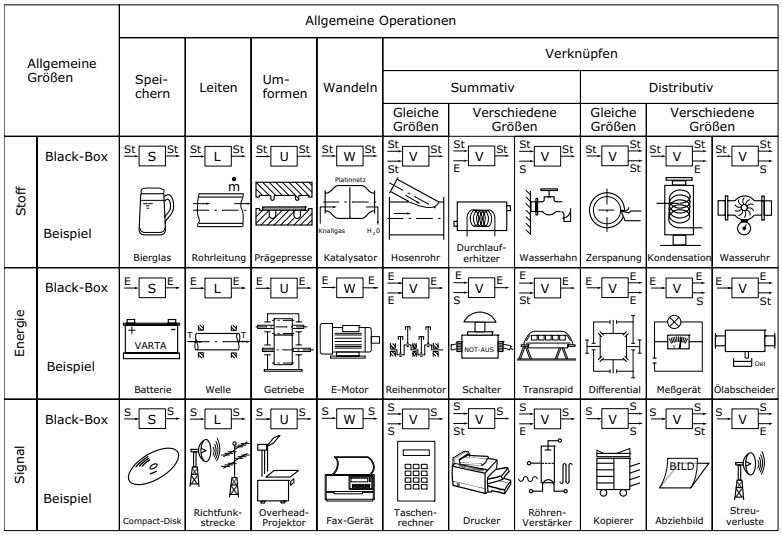


Bild (B819konD) Allgemeine Funktionen in Anlehnung an [Roth 1994 (1)]

3.5.3. Physikalische Funktionen

In vergleichbarer Weise wie die Allgemeinen Grössen können auch physikalische Grössen und entsprechende Operationen zur Beschreibung von Funktionen verwendet werden.

Definition: Physikalische Funktionen beschreiben die Transformation physikalischer Grössen mit definierten Operationen.

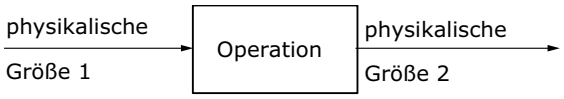


Bild (B820konD) Physikalische Funktionen

Tabelle (T008konD) zeigt nach einem Vorschlag von Roth [82] die grundlegenden physikalische Grössen in unterschiedlichen energetischen Systemen. Andere physikalische Grössen können auf diese Grössen zurückgeführt werden.

Energieart	Physikalische Grössen
Mechanisch, tanslatorisch	Kraft F, Impuls L, Verschiebung s, Geschwindigkeit v

Tabelle (T008konD) Physikalische Grössen (Übersicht)

Mechanisch, rotatorisch	Drehmoment M, Drehimpuls L, Winkelverschiebung, Winkelgeschwindigkeit
Hydraulisch, pneumatisch	Volumenstrom U, Volumen V, Druckimpuls Π, Druck p
Elektrisch	Stromstärke I, Ladung Q, Induktionsfluss Φ, Spannung U
Thermodynamisch	Wärmestrom Q, Wärmemenge Q, Temperatur T

Aus den Merkmalen dieser physikalischen Grössen kann systematisch auf mögliche Transformationen zwischen Ein- und Ausgangsgrössen geschlossen und daraus physikalische Operationen abgeleitet werden.

Zusammenhang zw. Ein- und Ausgangsgrössen	Physikalische Operationen
Art der Eingangsgrösse ändern	Wandeln, Umformen
Betrag der Eingangsgrössen ändern	Vergrössern, Verkleinern
Richtung der Eingangsgrösse ändern	Ablenken, Umlenken
(Wirk-) Ort der Eingangsgrösse ändern	Versetzen Verschieben
Zeitverhalten der Eingangsgrösse ändern	Modulieren, Dämpfen, Glätten ...
Anzahl der Eingangsgrössen ändern	Summieren, Verteilen, Zerlegen

Tabelle (T009konD) Physikalische Operationen

Entsprechend ergeben sich durch Zusammenfügen von physikalischen Grössen und Operationen physikalische Funktionen.

Bild (B821konD) Beispiel für die Physikalische Funktion „Kraft verstärken“

Für physikalische Funktionen existieren umfangreiche Lösungssammlungen physikalischer Effekte [Roth 1994 (1)], [Koller 1994 (1)] sowie eine Kombinationsmatrix zur systematischen Verkettung von physikalischen Effekten [Roth 1994 (1)].

Gleichung	Bemerkung
$F_2 = f(F_1)$	F: Kraft
$F_2 = \frac{1}{\tan(\alpha_1 \pm \rho_1) + \tan(\alpha_2 \pm \rho_2)} \cdot F_1$	Keileffekt mit Reibung α Neigungswinke ρ Reibungswinkel
$F_2 = F_1 \cdot \cot(\alpha \pm \rho)$	schiefe Ebene mit Reibung F_1 Horizontalkraft F_2 Gewicht + Aufwärtsbewegung - Abwärtsbewegung
$F_2 = \frac{1}{\tan\alpha_1 + \tan\alpha_2} \cdot F_1$	Kniehebel
$F_2 = \frac{1}{\frac{1}{\nu}\frac{c_1}{c_2} + \nu} \cdot F_1$	Querkontraktion einer Feder c Federkonstante ν Verformungsverhältinis
$F_2 = \frac{\mu}{1 \pm \mu\cot\alpha} \cdot F_1$	nichtlineares System

Tabelle (T010konZ) Ausschnitt aus einer Lösungssammlung physikalischer Effekte (Kraftverstärken) [Roth 1994 (1)]

3.5.4. Logische Funktionen

Sie sind im Unterschied zu den bisher beschriebenen analogen Funktionen diskrete Funktionen.

Definition: Logische Funktionen beschreiben die Transformation logischer (diskreter) Grössen mit definierten Operationen.

Zu unterscheiden sind kombinatorische Funktionen ohne und sequentielle Funktionen mit Speicherverhalten.

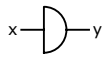
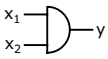
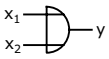
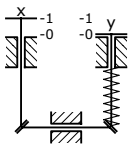
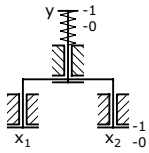
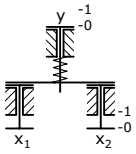
Funktion	Negation	Konjunktion	Disjunktion
Logische Beziehung	NICHT	UND	ODER
Algebraische Darstellung	$y = \bar{x}$	$y = x_1 \cap x_2$	$y = x_1 \cup x_2$
Schaltzeichen			
Wertetafel	x_2 x_1 1 0 0 1	x_2 x_1 y 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	x_2 x_1 y 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1
Logisches, kombinatorisches Getriebe			

Tabelle (T011Z) Beispiele für logische Funktionen [Roth 1994 (1)]

Logische Funktionen werden hauptsächlich in der Elektrik und Elektronik verwendet. Logische Funktionen lassen sich aber auch durch mechanische Lösungen realisieren z.B. in Schliesszylindern, PKW-Türschlössern, mechanischen Kupplungen und Gesperren. Im Einzelnen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

3.5.5. Zubringfunktionen

Für den speziellen Anwendungsfall der Werkstückhandhabung existiert ein eigener Funktionssatz mit Schaltzeichen [VDI-3239 1996 (1)], [VDI-2860 1990(1)], die zu einem Zubringfunktionsplan verknüpft, den Werkstückfluss in Maschinen und beim innerbetrieblichen Werkstücktransport beschreiben.

Definition: Zubringfunktionen beschreiben die Handhabung von Werkstücken mit definierten Operationen.

Folgende Tabelle gibt die Merkmale der Ein- und Ausgangsgrössen (hier Werkstücke) an und leitet daraus die Zubringoperationen ab.

Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrössen	Zubringoperationen
Ort der Werkstücke erhalten	Bunkern
Lage der Werkstücke erhalten	Magaziner
Ort der Werkstücke ändern (beliebig ⇒ bestimmt)	Eingeben
Ort der Werkstücke ändern (beliebig ⇒ beliebig)	Weitergeben
Ort des Werkstückes ändern (bestimmt ⇒ beliebig)	Ausgeben
Lage der Werkstücke ändern (beliebig ⇒ bestimmt)	Ordnen
Lage des Werkstücks ändern (grob ⇒ exakt)	Positionieren
Lage der Werkstücke ändern (bestimmt ⇒bestimmt)	Wenden
Anzahl der Werkstücke ändern (beliebig ⇒ bestimmt)	Zuteilen
Anzahl der Werkstücke ändern distributiv ändern	Abzweigen
Anzahl der Werkstücke ändern summativ ändern	Zusammenführen
Freiheitsgrad des Werkstücks ändern (⇒ 0)	Spannen
Freiheitsgrad des Werkstücks ändern (> 0)	Entspannen
Form, Oberfläche des Werkstücks ändern	Bearbeiten

Tabelle (T012konD) Zubringoperationen nach [VDI-3239 1996 (1)]

Diese Zubringoperationen können graphisch dargestellt werden.

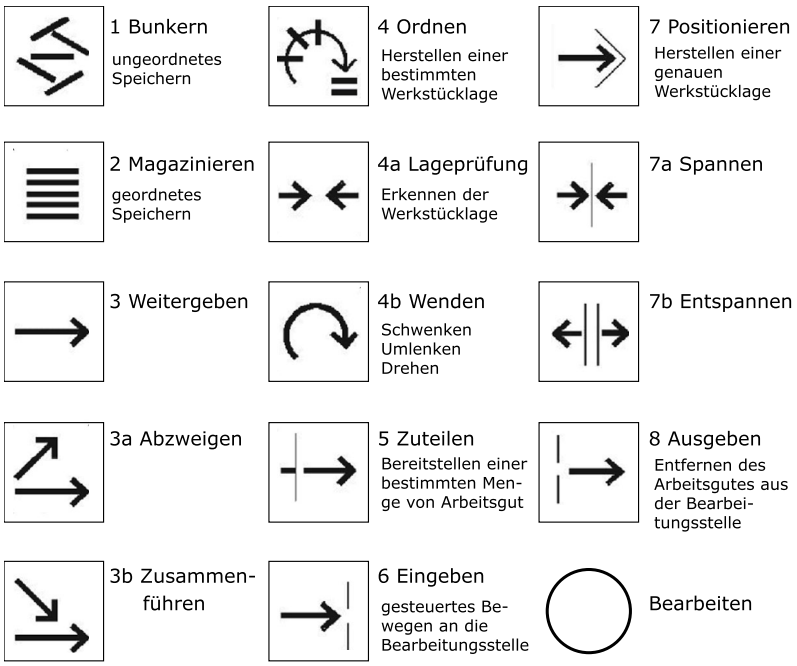


Bild (B112konZ) Zubringfunktionen und ihre Schaltzeichen [VDI-3239 1996 (1)]

Zubringfunktionen werden insbesondere bei der Planung von Betriebsanlagen, Fertigungs- und Montageeinrichtungen und beim Erstellen eines Hallen-Layouts verwendet.

3.6. Funktionsstrukturen erarbeiten

Das Arbeiten mit Funktionsmodellen kann sowohl zur Verbesserung bestehender Produkte als auch für die Neuentwicklung eingesetzt werden.

Das bestehende Produkt wird in Funktionen gegliedert und analysiert, um Teillösungen zu verbessern oder Funktionen neu zu verknüpfen. Für neue Produkte stellt die Funktionsstruktur eine abstrakte Form des Produktionsmodells dar und hilft zur Lösungsfindung.

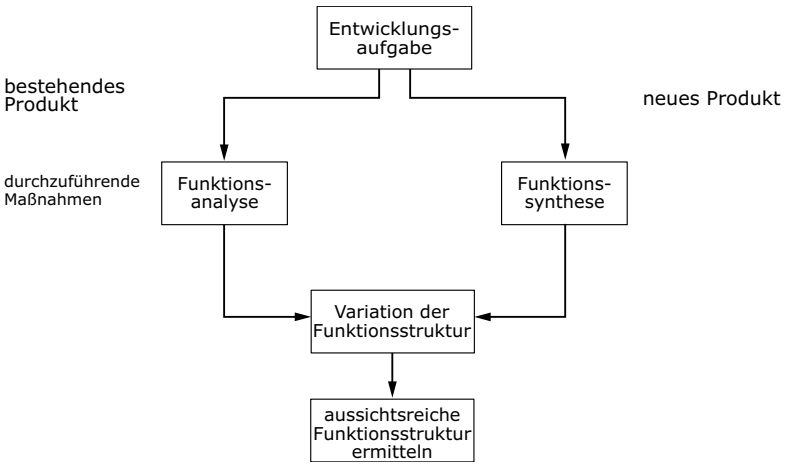


Bild (B822konD) Funktionsanalyse, -synthese, Funktionsvariation

3.6.1. Methode Funktionsanalyse

Bei der Funktionsanalyse werden gegebene Produkte hinsichtlich der Funktionen und Funktionsstrukturen untersucht. Das Vorgehen zeigt Tabelle T013konZ:

Produkt in Funktionsträger gliedern	Beim Gliedern des Produkts in Funktionsträger müssen die funktionalen Beziehungen zwischen den Komponenten hinsichtlich Stoff-, Energie- und Signalfluss erkannt werden.
Funktionen den Funktionsträgern zuordnen	Von Wirkprinzip abstrahieren und nur funktionale Zusammenhänge zwischen Eingang und Ausgang beschreiben
Funktionen hinsichtlich der Aufgabenerfüllung kritisch prüfen	Das kritische Hinterfragen der Funktionen zeigt Verbesserungspotentiale und Entwicklungsschwerpunkte. Üblicherweise können neue Strukturen erarbeitet werden, wenn bei einer analytisch gewonnenen Funktionsstruktur alle unnötigen Teilfunktionen eliminiert werden und eine Minimalstruktur zum Ausgang der Entwicklungsarbeit gemacht wird.

Tabelle (T013konD) Vorgehen bei der Funktionsanalyse

Die oft unübersichtliche Gesamtfunktion wird mit einer Funktionsanalyse in die enthaltenen Teilfunktionen gegliedert. Die Funktionsanalyse findet Anwendung:

- für eigene Produkte als Grundlage für eine Funktionsüberprüfung im Rahmen einer marktgerechten Weiterentwicklung und zur Produktdokumentation

- bei fremden Produkten (Wettbewerbsprodukten, Patente usw.) zur Informationsgewinnung hinsichtlich der darin enthaltenen Funktionen und Wirkprinzipien
- als Grundlage weiterführender Arbeiten wie z.B. Ermitteln der Funktionskosten oder Durchführen einer umfassenden Schwachstellenanalyse.

3.6.2. Methode Funktionssynthese

Die Funktionssynthese abstrahiert eine Aufgabe auf die für das neu zu entwickelnde Produkt erforderlichen Funktionen. Das Vorgehen zeigt Tabelle TKFU009D:

Gesamtfunktion mit Eingangs- und Ausgangsgrössen formulieren	Die Gesamtfunktion möglichst exakt als Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrössen formulieren. Hier hilft eine vorherige Prozessbetrachtung, die vorhandene Eingangsgrössen und erforderliche Wirkgrössen als Ausgangsgrössen liefert.
Gesamtfunktion in Teilfunktionen aufspalten	In der Regel müssen die Eingangsgrössen in mehreren Teilschritten verändert werden, um die Ausgangsgrössen zu erzeugen. Die Teilschritte entsprechen den zu erfüllenden Teilfunktionen.
Funktionsstruktur aufstellen	Die Teilfunktionen müssen in einem logischen Zusammenhang verknüpft werden, um die schrittweise Veränderungen und Verknüpfungen der Flüsse zu erreichen.
Systemgrenze eintragen	Die Abgrenzung der zu betrachtenden Bestandteile gegenüber den Nachbarsystemen wird in der Funktionsstruktur durch die Systemgrenze vorgenommen.
Funktionsstruktur variieren	Siehe Methode Funktionsstruktur variieren
Nebenflüsse ergänzen	Zur Erfüllung der Teilfunktionen in den Hauptflüssen sind Nebenflüsse erforderlich. Diese werden durch zusätzliche Teilfunktionen und deren Verknüpfungen in die Funktionsstruktur aufgenommen.

Tabelle (T014konD) Vorgehen bei der Funktionssynthese

Bei der Funktionssynthese wird zuerst ein Minimalsatz (Minimalstruktur) formuliert und dieser schrittweise erweitert, wenn zugeordnete Lösungen die Aufgabe nicht oder nicht genügend erfüllen. Die Funktionssynthese findet Anwendung:

- bei Neukonstruktionen, um ein breites Lösungsfeld zu erhalten
- für bewusstes Loslösen von Bekanntem.

3.6.3. Methode Funktionsvariation

Mit der Funktionsvariation erfolgt ein gezieltes Verändern von Funktionsstrukturen zum Optimierung des Zusammenwirkens der Teilfunktionen, des funktionellen Produktaufbaus, der Systemgrenze. Funktionsstruktur variieren:

- Verschiebung der Systemgrenze
- Teilfunktionen aufteilen oder zusammenfassen
- Reihenfolge der Teilfunktionen ändern, Teilfunktionen parallelisieren
- Reduzieren/ Vervielfachen der Anzahl gleicher Teilfunktionen
- Verknüpfung der Teilfunktionen ändern (z.B Steuerung ↔ Regelung).

Eine Funktionsvariation findet Anwendung:

- bei Funktionsanalysen
- bei Funktionssynthesen, um einen Überblick über das Lösungsfeld zu erhalten
- wenn in einer Funktionsstruktur mehrere ähnliche oder gleiche Funktionen auftreten und/oder die Teilfunktionen in ihrer logischen Reihenfolge weitgehend unabhängig voneinander sind.

3.7. Hinweise zum Arbeiten mit Funktionen

Funktionsdarstellung sollten nur soweit entwickelt werden, wie es für die nachfolgende Lösungszuordnung bzw. -findung sinnvoll ist. Keinesfalls ist eine nutzlose Systematik zu betreiben.

Es sind immer einfache Funktionsstrukturen anzustreben (Minimalstruktur)! Erst wenn deren Eigenschaften nicht den Anforderungen entsprechen, sollen kompliziertere Funktionsstrukturen als Grundlage für eine Lösungsermittlung verwendet werden.

Zur Beurteilung von Funktionsstruktur-Varianten sind die Teilfunktionen durch Lösungen zu konkretisieren. Nur so ist in den meisten Fällen eine fundierte Beurteilung möglich.

4. Lösungsfindung

Ausgehend von der Funktionsstruktur der Problemstellung werden Lösungen für die einzelnen Teilfunktionen erarbeitet.

Die Lösungsfindung kann durch Zugriff auf existente Lösungen erfolgen, wobei existent sowohl real als auch virtuell bedeuten kann. Unter intuitive Lösungsfindung fallen Methoden wie Brainstorming, Brainwriting etc. Systematische Variation der Eigenschaften schafft eine weitere Vergrösserung des Lösungsraumes.

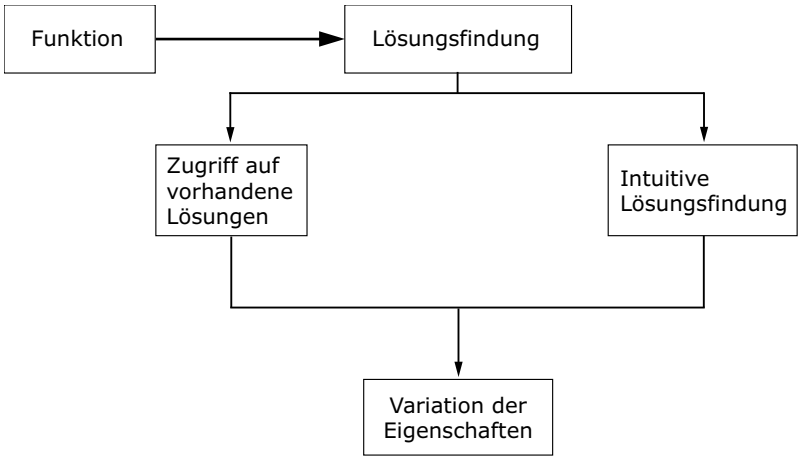


Bild (B005konZ) Lösungsfindung durch Intuition oder Zugriff auf Bestehendes

4.1. Auf vorhandene Lösungen zugreifen

Vorhandenen Lösungen beinhalteten zweierlei Arten von Lösungen, zum einen die realen und zum anderen die virtuellen.

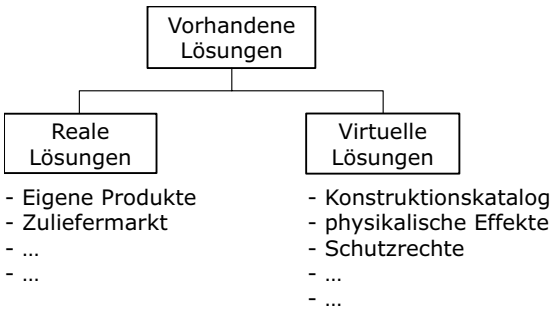


Bild (B823konD) Unterschiedliche Arten von vorhandenen Lösungen

Reale Lösungen können eigene Produkte, Wettbewerbsprodukte oder Zulieferkomponenten sein. Sie können als reales Produkt identifiziert, beschafft, u.U. modifiziert und genutzt werden.

Virtuelle Lösungen sind dokumentierte Lösungen in Form von Produktmodellen, die direkt als Lösungen oder als Lösungsanregung in unterschiedlichen Ebenen der Produktentwicklung verwendet werden können. Beispiele für virtuelle Lösungen sind Schutzrechte, Lösungssammlungen und Konstruktionskataloge.

In vielen Entwicklungsvorhaben zeigt sich, dass die Chancen neu entwickelter Lösungen über- und ihre Risiken unterschätzt werden [Birkhofer 1993 (1)].

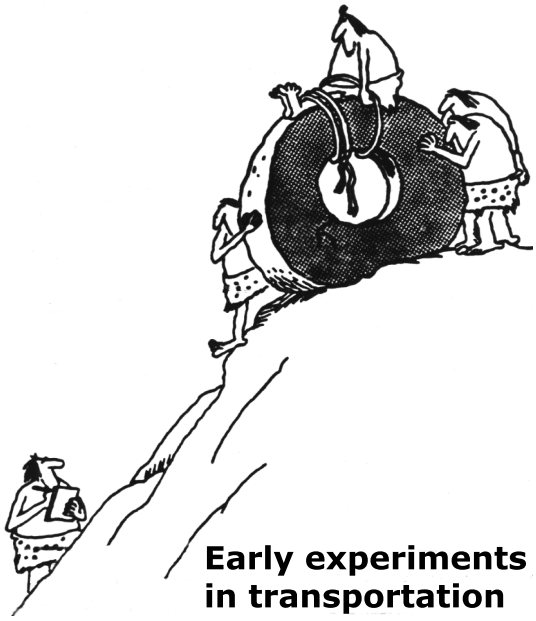


Bild (B824konD) Karikatur „Early experiments in transportation"(Quelle: www.unm.edu/~jerome/research.htm)

Da neue Lösungen in ihrem qualitativen Verhalten und hinsichtlich ihrer Marktakzeptanz nie vollständig und exakt beurteilt werden können, bleibt immer ein Restrisiko bzw. eine aufwändige Entwicklung und umfangreiche Tests mit vielen unerwarteten Problemen. Bewährte Lösungen für Teilfunktionen sind zu bevorzugen, wenn sie den Anforderungen hinreichend entsprechen und mit den anderen, benachbarten, Lösungen harmonieren.

Für Aufgaben in der Produktentwicklung gibt es eine Unzahl von Lösungen, die entweder als reale Produkte vorhanden oder als Pro-

duktmodelle in unterschiedlichsten Quellen dokumentiert sind. Kernproblem ist der gezielte Zugriff auf die aktuell geeigneten Lösungen. Hier wird durch den Einsatz der Informationstechnologie eine erhebliche Verbesserung erreicht (Suchmaschinen, Internet-, Intranetlösungen, hypermediale Produktkataloge...).

Grundsätzlich sollte bei jeder Entwicklungsaufgabe geprüft werden, ob nicht vorhandene Lösungen den Anforderungen entsprechen und eingesetzt werden können. Ihr Einsatz ist üblicherweise dann sinnvoll, wenn

- Lösungen bekannt sind, die den Anforderungen entsprechen,
- Lösungen bewährt sind oder ihr Einsatz aussichtsreich erscheint
- das Entwickeln einer neuen Lösung zu nicht vertretbaren Konsequenzen führen würde (z.B. zu später Markteintritt, zu hohes Entwicklungsrisiko, zu hohe Produktkosten)
- keine Rechte von Wettbewerbern den Einsatz verhindern.

Die Suche nach vorhandenen Lösungen ist dabei keineswegs auf das eigene Unternehmen beschränkt, sondern muss auch Wettbewerbslösungen, Schutzrechte, den Zuliefermarkt sowie Lösungssammlungen und Konstruktionskataloge mit berücksichtigen. Auch wenn dabei vielfach nur Lösungsprinzipien gefunden werden können, muss eine effiziente und effektive Produktentwicklung immer den Grundsatz beachten:

Bekanntes nicht neu erfinden! („Das Rad nicht neu erfinden!“)

4.1.1. Reale Lösungen recherchieren

Reale Lösungen sind gegenständliche Produkte bzw. Produktkomponenten, die ohne oder mit Nacharbeit für eine Entwicklung verwendet werden können.

Recherche nach eigenen oder Wettbewerbsprodukten

Die Recherche nach eigenen oder Wettbewerbsprodukten kann einen umfassenden Überblick über bekannte und bewährte Lösungen im Unternehmen oder beim Wettbewerb liefern.

Die gefundenen Lösungen sind meist nicht unmittelbar verwendbar und müssen oft an die neue Aufgabenstellung angepasst werden. Dennoch kann die Recherche helfen

- zur Beschaffung von Informationen über Lösungen und Lösungsdetails
- als Grundlage für eine gezielte Lösungsermittlung im Sinne des „Reverse Engineering“; dabei werden systematisch Wettbewerbsprodukt hinsichtlich der Nutzung von Teillösungen für den eigenen Bereich analysiert

- als Grundlage für die systematische Variation und die darauf basierende Erarbeitung eines vollständigen Lösungsfelds
- als Ausgangspunkt für eine Systematisierung des eigenen Produktspektrums mit dem Ziel der Reduzierung der Variantenvielfalt und der Bereitstellung von bewährten Teillösungen für immer wiederkehrende Aufgaben.

	Funktionen		Produkte-Fertigungsbereiche				
	Allgemeine Bezeichnung	Synonyme	SR Ramba 300	SC CAM-Anlage	RC Cartonetta	MS Schubert	RH Höflinger & Karg
Handhaben	Bunkern	Sammeln	SR1				
	Magazin	Stauen, Puffern	SR2	SC1 SC3	RC4 RC5	MS1	RH1 RH4
	Weitergeben	(Hoch) Fördern	SR3	SC1 SC3	RC3 RC4 RC6	MS3 MS4	RH3 RH5
	Zuteilen	Vereinzeln, Entnehmen, Abnehmen	SR2	SC2 SC3	RC2 RC4 RC5	MS1 MS5	RH2 RH4
	Verzweigen	Verteilen			RC1		
	Ordnen	Ausrichten	SR1	SC1	RC1		
	Ausgeben	Greifen, Füllen, Einschieben, Einlegen	SR2	SC2	RC2 RC7	MS5 MS9	RH2 RH5 RH8
	Positionieren	Spannen, Halten	SR3				
Verpacken	Auffalten			SC3	RC6	MS2	RH4
	Verschliessen				RC7 RC8	MS6 MS7	RH6 RH7
	Fügen	Zukleben, Heften, Klammern	SR4	SC5		MS1	
Messen	Wiegen					MS10	
	Zählen						
	Dosieren	Füllstand messen	SR1				

Tabelle (T015konZ) Systematische Erfassung von realen Lösungen der Konkurrenz; Übersichtsblatt zur gezielten Suche nach Zubringlösungen und Lösungsbeispiel

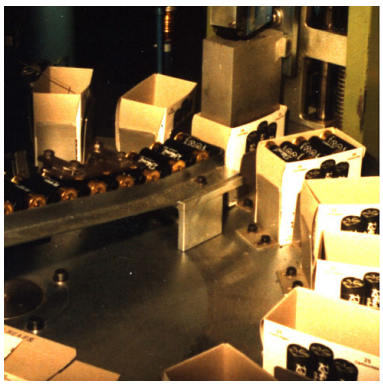


Bild (B825konD) Zubringsystem MS Schubert

Die Recherche nach eigenen oder Wettbewerbsprodukten erfolgt unter Zuhilfenahme verschiedener Quellen wie:

- Dokumentenanalyse (z. B. Zeichnungsarchiv, technische Dokumentationen)
- Internetrecherchen
- Fachmessen.

Recherche auf dem Zuliefermarkt

Unter dem Begriff „Zuliefermarkt" werden hier alle Zulieferer zusammengefasst, die Zulieferkomponenten anbieten.

Definition: Zulieferkomponenten sind abnehmeranonyme Standardlösungen, die für den Zuliefermarkt produziert werden und ohne oder mit nur geringer Nacharbeit in das eigene Produkt eingebaut werden können [Birkhofer et al. 1993 (1)].

Zulieferkomponenten werden als Zulieferteile, Kaufteile, Katalogteile bezeichnet, obwohl viele längst nicht mehr den Charakter von Teilen haben, sondern umfassende Problemlösungen darstellen. Der Einsatz derartiger Zulieferkomponenten [Reinemuth 1995 (1)] ist insbesondere bei kleinen bis mittleren Seriengrössen wegen der technischen und wirtschaftlichen Vorteile weit verbreitet. Er kann beispielsweise in der Montage-, Handhabungs- und Verpackungstechnik mehr als 90 % der gesamten Produktkosten ausmachen.

Bild (B101konZ) Modulares, hybrides Montagesystem auf der Basis vieler Zulieferkomponenten zur Fertigung eines Sicherungssockels (Quelle: http://www.faps.uni-erlangen.de/persons/LangStefan/TT-Zelle/TT-Zelle.htm)

Der Einsatz von Zulieferkomponenten wird aufgrund funktioneller Kriterien vorbereitet und durch sogenannte „Make or buy"-Entscheidungen abgesichert. Üblicherweise ist ein Einsatz dann sinnvoll, wenn

- die Zulieferkomponente die Anforderungen erfüllt
- Entwicklungs- und Fertigungskapazität für eine Eigenentwicklung fehlt
- das Anwendungs-Know-how des Zulieferers genutzt werden kann, um das Risiko einer Fehlentwicklung zu reduzieren; in diesem Fall wird häufig die Zulieferkomponente vom Zulieferer in einer so genannten „Bemusterung" hinsichtlich der Eignung für die neue Aufgabe erprobt
- mit einer Teillösung keine Differenzierung am Markt oder sogar Kernkompetenzen aufgebaut werden sollen
- die Zulieferlösung ökonomisch vertretbar ist (Gesamtbetrachtung über Lebenszyklus) obwohl die Lösung nicht spezifisch sondern allgemein ist.

Der Einsatz von Zulieferkomponenten kann durchaus zu innovativen Lösungen führen, wenn entweder die Komponente neu auf dem Markt ist oder in einem neuen Anwendungskontext eingesetzt wird.

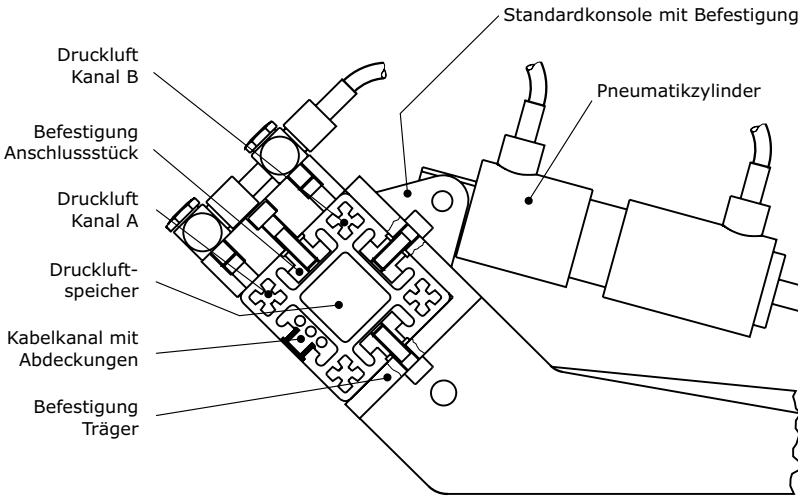


Bild (B826konD) Einsatz eines stranggepressten Aluminiumprofils
aus einem Profilmontagesystem als multifunktional genutzte Greifertraverse
(Profil: Werkbild Firma Rose&Krieger)

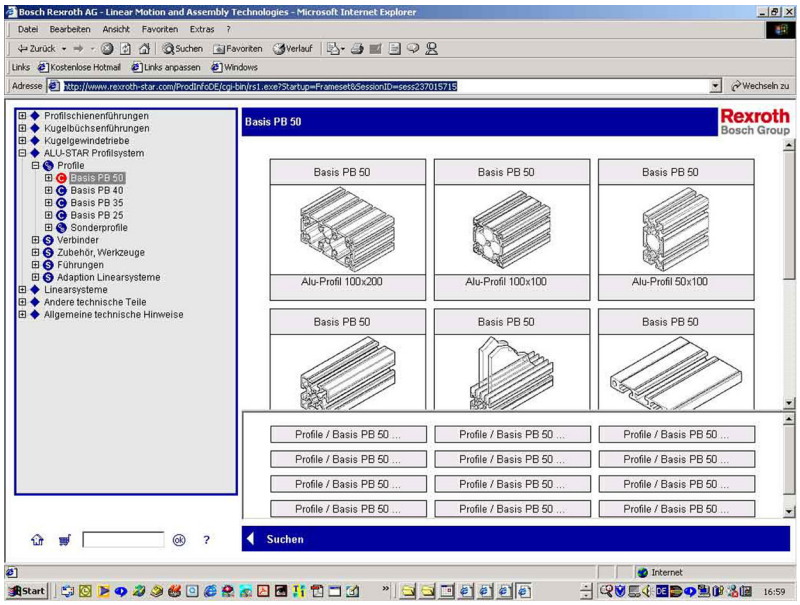


Bild (B024konz) Internetbasierter Marktplatz für Profile (www.bosch.de)

Im Internet werden zunehmend so genannte „virtuelle Marktplätze“ eingesetzt, auf denen die Zulieferer ihre Zulieferkomponenten und zugehörigen technischen Informationen anbieten.

Den potentiellen Kunden wird mit der Online-Plattform die Recherche u. a. aufgrund folgender Vorteile erheblich erleichtert:

- umfangreiche Datenbanken mit Anbietern und Zulieferkomponenten
- komfortable Suchroutinen nach unterschiedlichsten Merkmalen (z.B. Bezeichnung, Funktion, Preis, Hersteller usw.)
- direkte Kontaktaufnahme und Bestellmöglichkeit zum Beispiel über E-Mail
- zur Verfügung stehende CAD Zeichnungsdateien der entsprechenden Komponenten für die eigene Zeichnungserstellung und Dokumentation.

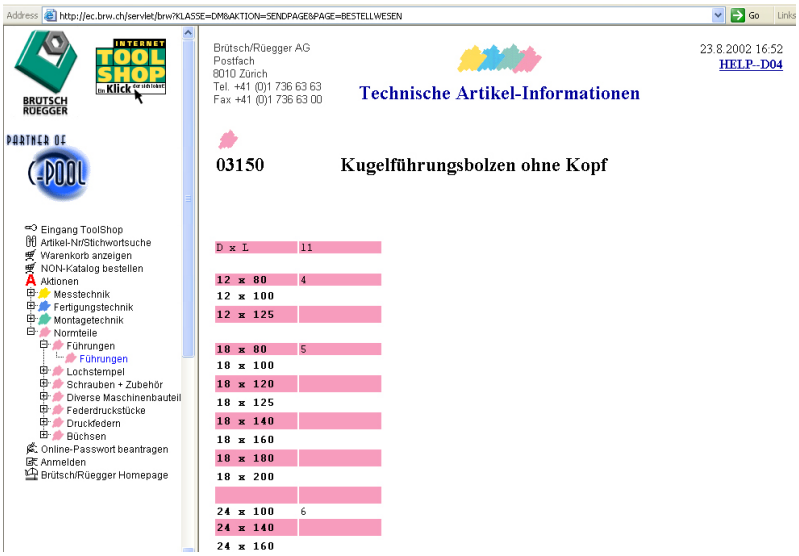


Bild (B025konZ) Gleitlager-Angebot (Brütsch + Ruegger, http://www.b-r.ch)

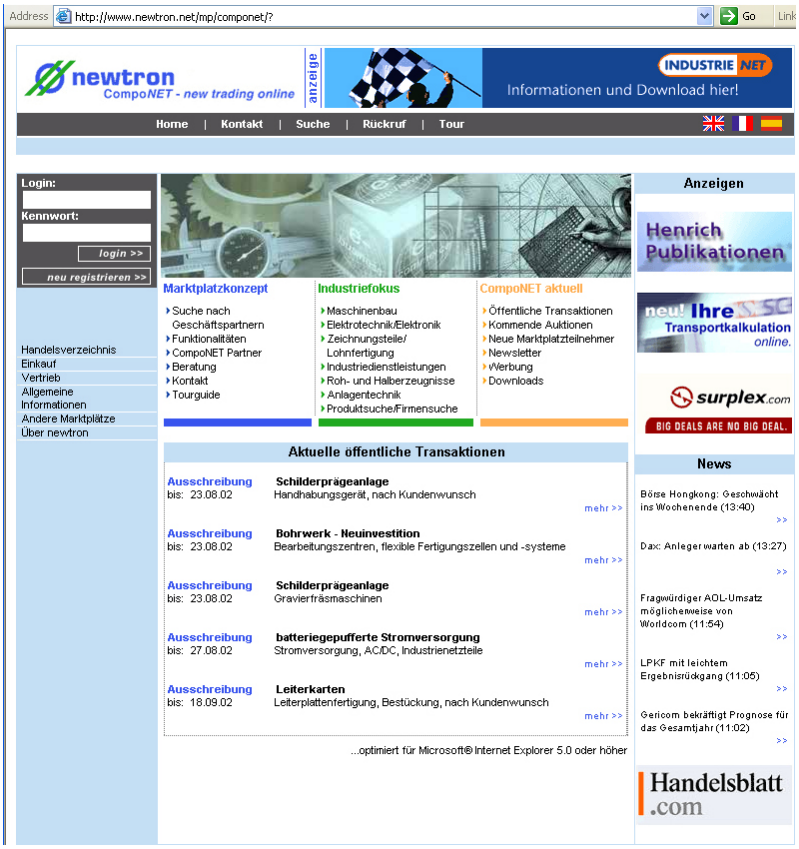


Bild (B827konD) Virtueller Marktplatz CompoNet (Screenshot Internetseite der Firma Newtron)

Virtuelle Marktplätze findet man z.B. bei folgenden Adressen:

www.newtron.de
www.wlw.de
www.fiz-technik.de
www.cadenas.ch

4.1.2. Virtuelle Lösungen (Produktmodelle) recherchieren

Virtuelle Lösungen sind Produktmodelle wie physikalische Effekte, Wirkprinzipien, Prinzipielle Lösungen, Grobentwürfe, massstäbliche Entwürfe, Technische Zeichnungen oder 2D- bzw. 3D-CAD-Modelle.

Recherche in Schutzrechten

Definition: Schutzrechte für technische Erfindungen sind Patente und Gebrauchsmuster, die sich durch Neuheit, Erfindungshöhe und gewerbliche Anwendbarkeit auszeichnen und formal angemeldet und eingetragen worden sind.

Technische Lösungen werden in Patenten und Gebrauchsmustern schutzrechtlich dokumentiert. Ihre Nutzung durch andere ist lizenzpflichtig.

Trotz der Absicherung gegen eine unberechtigte Nutzung kann eine Recherche in Patenten und Gebrauchsmustern wertvolle Informationen für die Produktentwicklung liefern, die folgendes ermöglichen:

- Stand der Technik ermitteln und Doppelentwicklungen bzw. Schutzrechtsverletzungen vermeiden
- Lizenzgeber für kritische oder wichtige Lösungen finden, wenn keine eigene Entwicklungskapazität vorhanden ist
- Wettbewerber beobachten und aus der Häufigkeit von Anmeldungen Rückschlüsse auf deren Entwicklungsaktivitäten schliessen (systematische Patentauswertung)
- Schutzrechte des Wettbewerbs umgehen, indem bekannt gemachte Schutzrechte als Grundlage für das systematische Erarbeiten eines vollständigen Lösungsfelds herangezogen werden; damit können oft neue schutzrechtsfähige Lösungen verbesserter Funktionalität erarbeitet werden
- Eigene Schutzrechtsansprüche durch das systematische Erarbeiten eines vollständigen Lösungsfelds und die darauf Bezug nehmende Schutzrechtsanmeldung absichern.

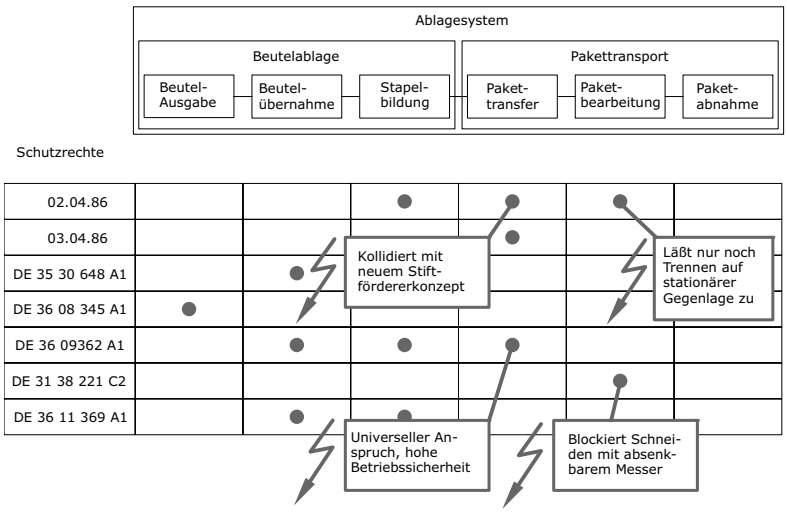


Bild (B828konD) Funktionsanalyse von Schutzrechtsansprüchen bei einer Anlage zur Herstellung von Folienbeuteln

Eine Recherche nach Schutzrechten erfordert umfangreiches Spezialwissen und wird meist von Patentanwälten durchgeführt.

Eigene Recherchen können entweder über den Zugriff auf Patentdatenbanken (CD-ROM oder Internet) oder direkt bei den Patentstellen erfolgen.

Patentdatenbanken findet man u.a. bei folgenden Internetadressen:

http://www.european-patent-office.org/
http://www.patents.ibm.com (IBM Patentdatenbank)
http://www.uspto.gov (US-Patentanstalt)

Recherche in Lösungssammlungen

Definition: Lösungssammlungen sind nicht systematisierte Lösungsspeicher, die virtuelle Lösungen wie physikalische Effekte oder Wirkprinzipien enthalten und in Dokumenten dargestellt sind.

Wertvolle Informationsquellen für Lösungen sind Normen, Richtlinien, Zeitschriften, Veröffentlichungen und Fachbücher.

Derartige Lösungssammlungen geben meist eine Übersicht über Wirkprinzipien bzw. über Prinzipien von tatsächlich ausgeführten technischen Produkten. Die Prinzipien werden üblicherweise als anschauliches Prinzipbild, als Entwurfszeichnung oder Foto dargestellt. Insofern sind diese Beschreibungen in der Regel kontextabhängig und erschliessen dem Betrachter nur bestimmte Lösungsaspekte.

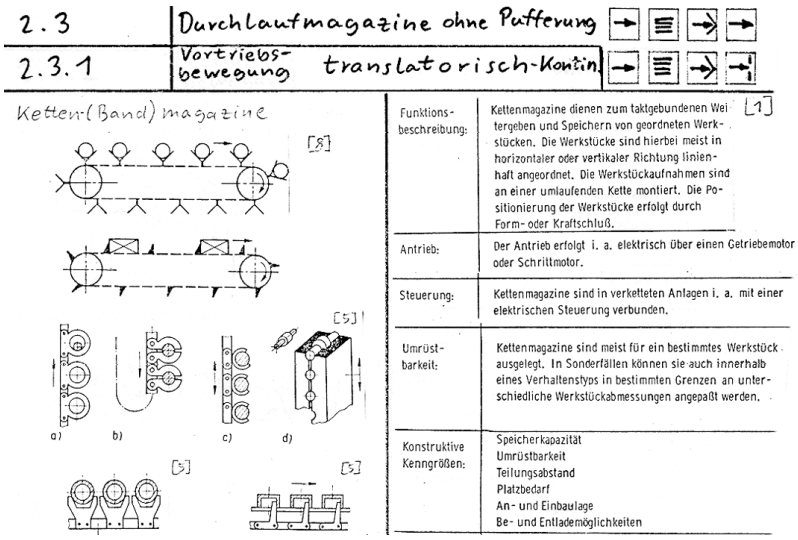


Bild (B829konD) Selbst erstellte Lösungssammlung eines Entwicklungsteams für Handhabungsaufgaben

Auch wenn der Zugriff auf Lösungssammlungen derzeit bereits durch IT-Werkzeuge erheblich verbessert wurde, bleibt dennoch die gezielte Suche in Lösungssammlungen, die berüchtigte Suche „nach der Nadel im Heuhaufen“. Hier ruht noch ein erhebliches Potential für unterstützende IT-Werkzeuge.

Recherche in Konstruktionskatalogen

Konstruktionskataloge wurden vor allem in den 70er und 80er Jahren erstellt [Ewald 1982 (1)], [Roth 1994 (1)], [Schneider 1985 (1)] und basieren nahezu ausnahmslos auf Printmedien.

Definition: „Ein Konstruktionskatalog ist ein dokumentierter Wissensspeicher, der nach methodischen Gesichtspunkten erstellt, weitestgehend vollständig und systematisch als spezielles Ordnungsschema gegliedert ist“ [Roth 1994 (1)] und der beim Konstruieren unterstützt.

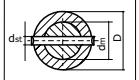
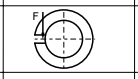
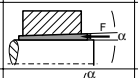
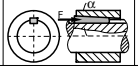
Gliederungsteil		Hauptteil				Zugriffsteil							Anhang
Art des Flächen-schluss-ses	Art der Kraft-über-tragung	Gleichung	Benen-nung	Anordnungsbeispiel	Nr	Über-trag-bares-Moment	Moment-über-tragung abhän-gig von	Auf-nahme von Axial-kräften	Wirkung bei Über-lastung	Verbin-dung zen-trier-bar	Nabe axial ver-schieb-bar	Nabe ver-setz-bar	Anmerk-ungen
1	2	1	2	3	Nr	1	2	3	4	5	6	7	8
Normal (Form-schluß	Un-mittel-bar	$Mt = \frac{dm}{2} A\tau_{ges} \tau_{zul}$ $Mt = \frac{dm}{2} A_p p_{zul}$	Profil-welle		1	groß	Form-faktor	nein	Bruch	ja	mögl.	in Stufen mögl.	
	Mittel-bar	Mt übertragbares Moment d_m mittlerer wirksamer Durch-messer	Form-element-ver-bindung		2	klein		möglich				mögl.	einfache Montage
Tangen-tial (Reib-schluß)	Un-mittel-bar	$M_t = M_r = F_r = d_m/2$ $= F_n \mu d_m/2$ α Keilwinkel M_r Reibmoment F_r Reibkraft d_{st} Stiftdurch-messer	Klemm-sitz		3	klein bis groß	Tempe-ratur, Rota-tions-kräften, Axial-kräften	ja	Rut-schen	ja	nur bei $F_A > F_r$	stufen-los	
	Mittel-bar		Spann-element		4	mittel				mögl.			Herstell- und Mon-tageauf-wand klein
Tange-tial und normal	Mittel-bar		Vorge-spannte Verbin-dung		5	klein		mög.	Bruch	nein	nein	mögl.	

Bild (B830konD) Konstruktionskatalog „Welle-Nabe-Verbindungen“ (Übersichtskatalog) [Roth 1994 (1)]

Konstruktionskataloge sind in der vorliegenden Form streng systematisch gegliederte Lösungsspeicher mit typischen Kennzeichen:

- einheitlicher, erkennbarer Katalogaufbau mit Gliederungsteil, Hauptteil, Zugriffsteil und meist mit Anhang
- Gliederungsteil mit Gliederungsmerkmalen zur widerspruchsfreien Einteilung der Katalogobjekte
- Hauptteil mit Lösungsbeispielen als typische Vertreter der jeweiligen Lösungsklasse, oft als Skizzen dargestellt mit zum Teil ergänzender Beschreibung durch Text oder Gleichung
- Zugriffsteil mit relevanten Eigenschaften der Objekte zur gezielten Auswahl (⇒ Siebeffekt)
- Anhang mit ergänzenden Angaben (z. B. Literaturstellen, Herstellerangaben).

Konstruktionskataloge sind beim Konzipieren deshalb von besonderer Effizienz, weil sie im Rahmen der Gliederungsmerkmale ein vollständiges Lösungsspektrum beschreiben und durch die Angaben im Haupt- und Zugriffsteil eine umfassende und gezielte Auswahl der jeweils günstigsten Lösung ermöglichen. Da in Konstruktionskatalogen meistens physikalische Effekte und Wirkprinzipien enthalten sind, sind sie auch für einen grossen Benutzerkreis geeignet.

Gliederung	Inhalt (Kurzform)	Fundort (Kurzform)
Physikalische Effekte	Physikalische Effekte	Koller: Konstruktionsmethode, Springer 1994
	Kraft erzeugen	Roth-94
	Einstufige Kraftmultiplikation	Roth-94
Kinematik / Getriebelehre	Mech.Wegumformer	Ewald-75
	Mech. Rücklaufsperren	Roth-94
	Mech. RS- und T-Flip-Flops	Roth-94
	Reibsysteme	Roth-94
	Gesperre	VDI-Richtlinie 2253, Bl. 1, VDI-Verlag 1967
Maschinen-elemente und Antriebstechnik	Verbindungen	Ewald-75
	Nietverbindungen	Roth-94
	Schnappbare Form-schlussverbindungen	Käufer u.a.: Z. Konstruktion 29 (1977), H.10, S. 387 ff
	Spannverbindungen	VDI / VDE Richtlinie 2251, Bl.1, VDI-Verlag 1972
	Welle-Nabe-Verbindungen	Kollmann, Springer 1984
	Antriebe	Roth-82
	Mech. einstufige Getriebe	Schneider: Konstruktionskata-loge als Hilfsmittel Diss. DA 1985
	Gleit- und Wälzlager	Roth-94
	Rädergetriebe	Roth-94
	Federn	Roth-94
	Elektrische Antriebe	Ewald-75
	Getriebetechn.	Habiger: Z. Maschinenbau-technik 22 (1973), H.4, S.179 ff
	Lösungskatalog	Merhar: Z. Maschinenbau-technik 27 (1978), H.5, S.215 ff
	Stufenlos einstellbare Getriebe	Müller: VDI-Bericht 195, VDI-Verlag 1973
	Gerade- und Rotationsführungen	Roth-94
Produktions-technik	Giesstechnische Fertigungsverfahren	Ersoy: Z. industrieller Fertigung 66 (1976), Nr.4, S.211 ff
	Lötverfahren	VDI / VDE Richtlinie 2251, Bl.4, VDI-Verlag 1965
	Schweissverfahren	VDI / VDE Richtlinie 2251, Bl.4, VDI-Verlag 1965
Sonstige	Bedienteile	Neudörfer: Z. Werkstatt u. Betrieb 110 (1977), Nr.4, S.225 ff
	Rotationskolbenmaschinen	Wankel: Einteilung der Rotationskolbenmaschinen, Deutsche Verlagsanstalt, Fachverlag 1963

Tabelle (T016konD) Lösungssammlungen und Konstruktionskataloge (Auswahl)

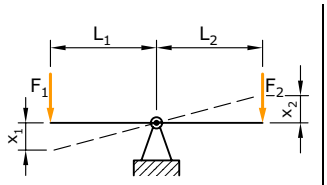
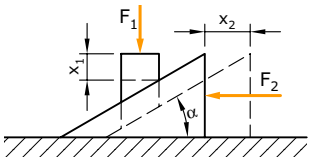
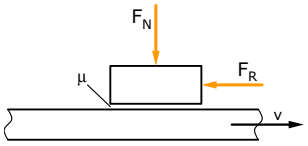
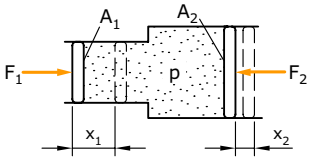
	$\frac{x_1}{L_1} = \frac{x_2}{L_2}$ $\frac{F_1}{L_2} = \frac{F_2}{L_1}$	Hebelgesetz
	$\frac{F_2}{F_1} = \frac{x_1}{x_2} = \tan\alpha$	Keilgesetz
	$F_R = \mu \cdot F_N$	Coulombsches Reibgesetz
	$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = p$ $\frac{x_1}{A_2} = \frac{x_2}{A_1}$	Druckfortpflanzung

Tabelle (T017konZ) Beispiel von Effekt-Katalog „Kraft verstärken“

Arbeiten mit Konstruktionskatalogen

Um Konstruktionskataloge effizient zu nutzen ist folgendes Vorgehen zu empfehlen:

- Katalog über Katalogverzeichnisse auswählen
- falls Haupt- und Detailkataloge vorliegen, erst Hauptkatalog nach Erfolgversprechenden Lösungsklassen und danach die Lösungen der aussichtsreichen Lösungsklassen durchmustern (gestuftes Vorgehen)
- dabei Zugriffsmerkmale mit Anforderungen aus Anforderungsliste vergleichen und geeignete Zugriffsmerkmale markieren
- Lösungseigenschaften mit entsprechenden Anforderungen vergleichen und Widersprüche / Verstösse kennzeichnen. Bei eindeutigem Verstoss gegen Festforderung oder Bereichsforderungen werden die betreffenden Lösungen aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Nur prinzipiell geeignete Lösungen passieren diesen Siebprozess.
- Verbliebene Lösungen einer weiteren Feinbeurteilung unterziehen.

Vorteile:

- schnelle und gezielte Lösungsfindung
- weitgehende Vollständigkeit bei Konstruktionskatalogen
- weitgehend branchen- und unternehmensunabhängig (universeller Einsatz).

Nachteile:

- selten Zuordnung von Herstellern zu Lösungen im Katalog
- zur Zeit noch konventionelle Dokumentation in Printmedien, dadurch zum Teil erheblicher Rechercheaufwand und geringe Flexibilität für Benutzer
- Rechnerunterstützung erst in Ansätzen vorhanden (Derhake-90).

4.2. Intuitive Lösungsfindung

Die kreativste Phase in der Tätigkeit eines Ingenieurs ist die intuitive Lösungssuche. Hier sind der „Erfindergeist", die Innovationskraft, die Vorstellungsgabe und besonders die Fähigkeit, übergeordnet, vernetzt und systematisch zu denken gefordert.

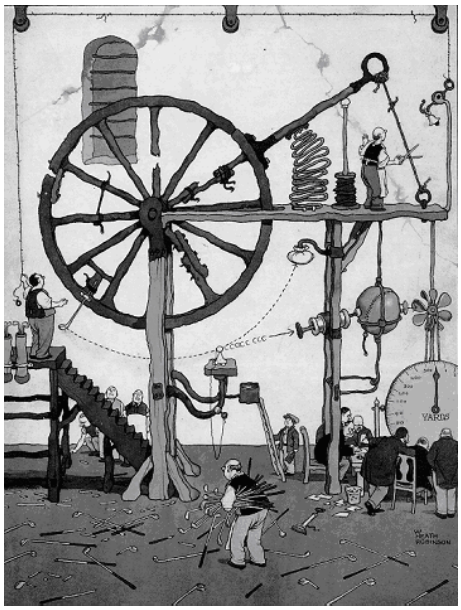


Bild (B113konZ) Testmaschine für Golfschläger

Alle folgenden Methoden sind selbstverständlich nicht nur für die Konzeptphase geeignet, sondern können überall dort, wo neue Ideen gesucht sind, eingesetzt werden (z.B. MLP, Produkt-Strategie). Letztlich ist es die Intuition, Inspiration, die den Ingenieur zu einer bestimmten Lösung führt. Intuition kann bis zu einem gewissen Grad geplant oder gefördert werden, wenn z.B. das Umfeld stimmt. Einfälle kommen vielfach beim Entspannen in der Freizeit usw. Obwohl es für solche Momente keine Anleitung gibt, existieren zumindest Vorschläge, Methoden, wie solche Kreativitätsphasen unterstützt werden können.

4.2.1. Brainstorming

Am treffendsten wird das Wort mit Gedankensturm übersetzt. Diese Methode ermöglicht geistig beweglichen Menschen, ihre Ideen fliessen zu lassen, frei zu assoziieren und sich gegenseitig zu inspirieren.

Die Teamgruppe wird für das Brainstorming bewusst vergrössert (bis auf rund 15 Personen). Wesentlich bei der Gruppenbildung ist, dass Leute aus verschiedensten Tätigkeiten und Erfahrungsbereichen zusammenkommen, um gedanklich auszuschweifen (falls möglich aus der gleichen Hierarchiestufe). Auch Nichttechniker können neue Anregungen einbringen. Mit dem Brainstorming wollen wir eine möglichst grosse Menge an Lösungen generieren, vorerst ungeachtet der Qualität dieser Lösungen.

1. In der ersten Phase werden den Mitgliedern das Problem, die Fragestellung und u. U. die Randbedingungen erläutert.
2. Die zweite Phase ist das eigentliche Brainstorming, die Ideengenerierung. Dabei müssen folgende Regeln strikte eingehalten werden:
   - Gedankenäusserungen nicht unterbrechen
   - Keine Kritik ausüben
   - Keine Killerphrasen wie: „Haben wir schon probiert“, „geht bei uns nicht“...
   - Ideen werden (z. B. durch einen Moderator) visualisiert und festgehalten.
3. In der dritten Phase vertiefen sich die Teilnehmer individuell in die einzelnen Lösungsansätze, kombinieren und verfeinern diese und generieren daraus wieder neue Möglichkeiten, um erst dann mit klaren Vorstellungen in die letzte, jetzt qualitativ wertende Phase zu treten.
4. In dieser Phase werden nun die Lösungen auf ihre Machbarkeit analysiert und bewertet. Hier dürfen auch Kritik ausgeübt und die Ansätze hinterfragt werden.

Brainstorming ist dann sinnvoll, wenn:

- ein Loslösen von Konventionen angestrebt wird
- das physikalisch, technologische Konzept nicht festgelegt ist
- das Team sich in einer Sackgasse bei der Lösungssuche befindet.

Häufig werden Brainstorming-Sitzungen ausserhalb der bekannten Umgebung abgehalten, in einer gelösten Atmosphäre, wo kreatives Wirken erreicht werden kann.

Bild (B114konZ) Kreative Besprechung und Visualisierung

Ernüchternd muss erwähnt werden, dass keine fertigen Lösungen erwartet werden dürfen und viele Lösungsansätze unrealistisch oder schon bekannt sind. Der Erfolg liegt schon vor, wenn mit neuen Anregungen neue Wege geöffnet werden.

4.2.2. Brainwriting

Bei Brainstorming-Sessionen kann (vor allem bei anspruchsvollen Aufgaben) bei den Teilnehmern das Bedürfnis nach Zurückgezogenheit und Ruhe auftreten, um über eine mögliche Lösung vertieft nachzudenken. Diesem Bedürfnis nach Konzentrationsmöglichkeit wird bei der Brainwriting-Methode entsprochen:

1. Individuell, dies kann auch örtlich und zeitlich getrennt erfolgen, erarbeiten die Teilnehmenden eine beschränkte Lösungsmenge.
2. Diese Lösungsvorschläge werden im Kreis zum nächsten Mitglied gereicht, das die Ideen des Vorgängers übernimmt, modifiziert, ergänzt und daraus seinerseits neue Lösungswege assoziiert.
3. Dieses zyklische Arbeiten, Ergänzen, Erneuern und Vervollständigen wird so häufig wie notwendig (bevorzugt 3x) wiederholt

Eine konzeptionelle, identisch aufgebaute Methode, welche jedoch wieder das Stressmoment bewusst einsetzt, ist die 6-3-5-Methode:

- 6 Teammitglieder erarbeiten je
- 3 Lösungsvorschläge und reichen diese
- nach jeweils 5 Minuten zum nächsten Mitglied weiter.

Dieser Vorgang dauert so lange, bis jedes Mitglied Stellung zu jedem Lösungsvorschlag genommen hat. Die Zahlen sind hier weniger von Bedeutung als die Arbeitsweise unter Zeitdruck.

4.2.3. Galeriemethode

Unabhängig zu den oben erwähnten Methoden soll hier die Galeriemethode als weiterer, bewährter Schritt vorgestellt werden. Die bisher gefundenen Lösungen (z.B. durch Brainwriting) werden bildhaft in Skizzen erstellt und gut übersichtlich an den Wänden des Sitzungszimmers aufgehängt.

Dadurch können weitere Assoziationen gefunden, teilweise erstes Sortieren und Werten (siehe später) vorgenommen und so eine Selektion oder Kombination durchgeführt werden.

Diese Methode eignet sich sehr gut für Fragen über das Design, die Zugänglichkeit und Ähnliches, weil die bildhafte Darstellung die Vorstellung der Wirklichkeit am besten ermöglicht.

4.2.4. Synektik

Erwähnenswert ist auch die Synektik in Ergänzung zu den erläuterten Methoden. Die Aufgabenstellung wird weitgehend verfremdet, um Analogien zu anderen Technologien, Prinzipien und Wissenschaften zu spannen. Die bekannteste Untergruppe der Synektik ist die Bionik. Hier wird eine Analogie aus der Biologie für den Lösungsweg technischer Probleme gesucht.

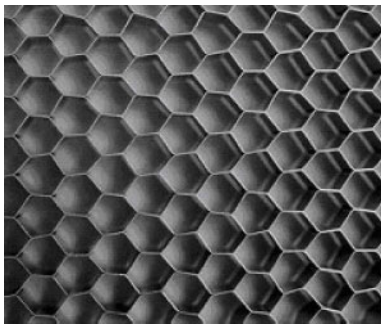


Bild (B115konZ) Belastungsstabile Leichtbaustruktur in Form von Bienenwaben

4.2.5. Weitere intuitive Methoden

Es existieren viele andere Kreativitätsmethoden, welche hier kurz angesprochen werden sollen:

- Kreative Sprünge (angelehnt an die Bench-Mark-Methode): Man löst sich in einer Sitzung vollständig von der Gegenwart und versucht in einem grossen gedanklichen Sprung, sich die optimale Lösung vorzustellen; was wäre die idealste aller Lösungen, ohne Rücksicht auf technische und finanzielle Randbedingungen?
- Checkliste verwenden: Der Erfinder der Brainstorming-Methode (Osborne) hat noch eine weitere Methode integriert, welche hier lediglich als Werkzeug dargestellt werden soll. Eine Checkliste soll helfen, sich aus dem verfahrenen Zustand in eine neue Richtung zu bewegen.

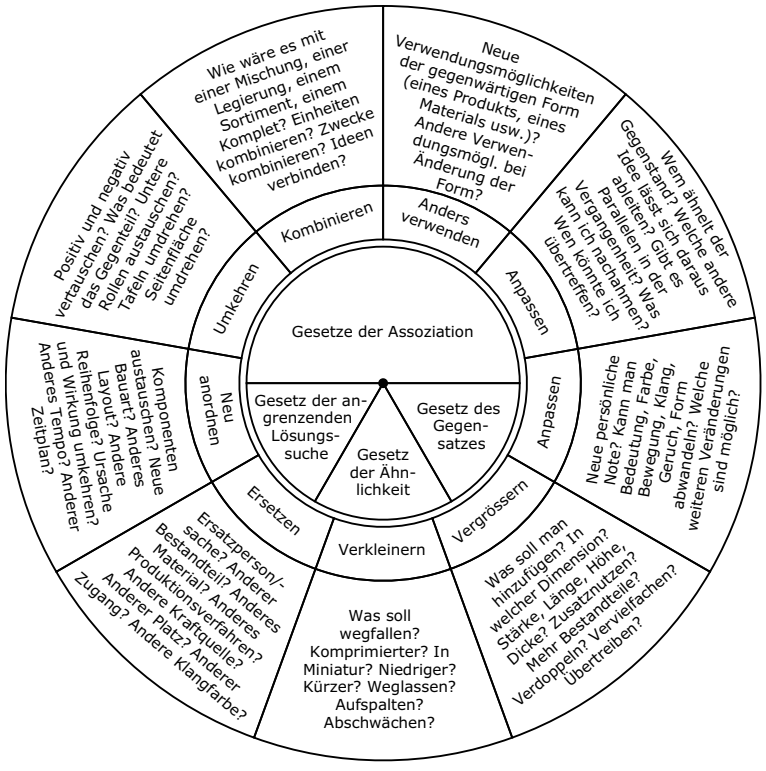


Bild (B116konZ) Checkliste der Variationsbreite nach Osborne-Kreis Kt9

4.2.6. Anwendung

Das Wort „Kreativitäts-Methoden" enthält in sich einen Widerspruch: spontaner Einfallsreichtum versus systematisches und geplantes Handeln. Aus diesem Grunde bewährt es sich, die Vorgehensweise dem jeweils vorliegenden Problem anzupassen und sich zu fragen:

- Welche Methode eignet sich für die Fragestellung?
- Wäre eine individuelle Vorgehensweise als Kombination verschiedener Methoden optimal?

Kombinationsmöglichkeiten in einer möglichen Reihenfolge sind:

Methode	Ziel	Durchführung
1. Brainstorming	Ideenfluss erarbeiten	kurz, gemeinsam
2. Brainwriting	Vertiefungsphase	individuell
3. Kombination Galerie / Brainstorming	Assoziations- / Wertungsphase	gemeinsam

Tabelle (T018konZ) Kombination verschiedener Kreativitäts-Methoden

Wesentlich ist, trotz des angestrebten gedanklichen Freiraumes, Methodiksessionen gut und gezielt vorzubereiten. Diskussionen können in viele Seitenäste abgleiten und dann stark unter Effizienzverlust leiden. Die Methode, die Vorgehensweise und das Ziel müssen den TeilnehmerInnen bekannt sein, so dass sie sich vorgängig mit der Fragestellung beschäftigen und sich während der Sitzung auf das Geschehen konzentrieren können.

4.3. Lösungen durch systematische Variation

Wenn bei der Lösungsfindung nicht auf vorhandene Lösungen zurückgegriffen werden kann und auch das intuitive Arbeiten keine befriedigenden Ergebnisse liefert, hilft das systematische Erarbeiten eines Variantenfeldes weiter.

Das systematische Variieren basiert darauf, dass bestehende Lösungen oder erste Lösungsideen anhand von Eigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen beschrieben werden. Variiert man diese Eigenschaften gezielt und kombiniert sie zu neuen Eigenschaftskombinationen, kann man daraus neue Varianten ableiten und so zu neuen Lösungen für die Teilfunktionen kommen.

Die systematische Variation ist eine ausserordentlich mächtige Methode zum Generieren neuer Varianten, da sie auf alle Produktmodelle angewandt werden kann. Funktionelle, physikalische wirkprinzipielle und gestalterische Varianten lassen sich damit systematisch erarbeiten. Ein Variantenfeld umfasst sowohl bekannte Lösungen, enthält aber in der Regel so genannte „weisse Felder", die durch ihre Eigenschaftskombination unbekannte Varianten repräsentieren und oft auf innovative Lösungen hinführen. Die gebräuchlichen Darstellungen von Variantenfeldern vermitteln einen anschaulichen Überblick und erleichtern die Auswahl geeigneter Varianten für die nachfolgende Kombination.

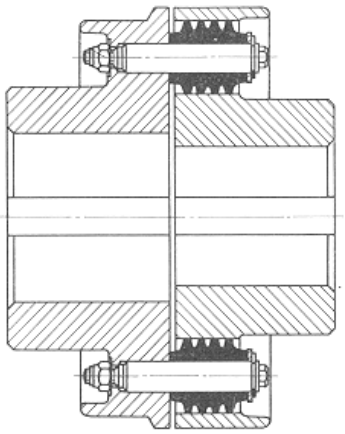
4.3.1. Eigenschaft, Merkmal und Ausprägung

Ein zentraler Begriff bei der systematischen Variation ist der Eigenschaftsbegriff [Birkhofer 1980 (1)].

Eine Eigenschaft setzt sich zusammen aus einem Merkmal und einer Ausprägung *(Wert) aus einer merkmalspezifischen Wertemenge.*

Eine konkrete Eigenschaft wird dadurch gebildet, dass dem entsprechenden Merkmal eine Ausprägung zugeordnet wird. Jedes Merkmal hat eine Wertemenge.

Es gilt: Eigenschaft = Merkmal · Ausprägung



Ausgleichskupplung – Größe 4

Eigenschaften	
Merkmale	Werte
Übertragbares Drehmoment	82 Nm
Art des Naben-werkstoffes	Baustahl
Anzahl der Elasto-merelemente	8
Farbe	Rostbraun
Art der Welle-Nabe-Verbindung	Passfeder

Bild (B831konD) Eigenschaften einer Ausgleichskupplung

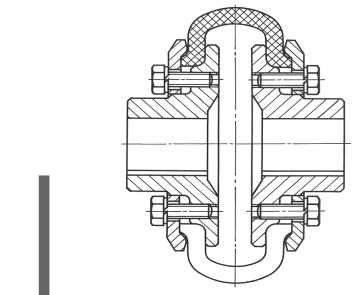
4.3.2. Ähnlichkeit von Objekten

Mit Eigenschaften können reale Objekte (z. B. Produkte) oder virtuelle Objekte (z. B. physikalische Effekte, Wirkprinzipien) beschrieben werden. Die Gesamtheit der in der Beschreibung genannten Eigenschaften repräsentieren ein Objekt [Anderl 1996 (1)]. Mehrere Objekte können nun hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit beurteilt werden. Sie sind sich um so ähnlicher, je mehr Eigenschaften übereinstimmen.

Definition: Ähnlichkeit zwischen Objekten kann als der Grad an Übereinstimmung ihrer Eigenschaften aufgefasst werden.

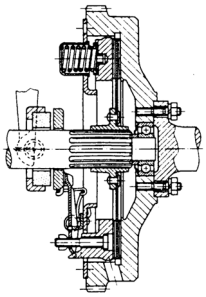
Man unterschiedet verschiedene Grade der Ähnlichkeit:

- Gleiche Objekte haben gleiche Eigenschaften.
- Ähnliche Objekte haben gleiche Merkmale, aber unterschiedliche Ausprägungen dafür.
- Unterschiedliche Objekte haben unterschiedliche Merkmale.



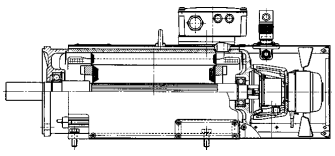
Hochelastische Balgkupplung

Eigenschaften	
Merkmale	Werte
Übertragbares Drehmoment	60 Nm
Art des Naben-werkstoffes	Grauguss
Anzahl der Elasto-merelemente	1
Farbe	gelb
Art der Welle-Nabe-Verbindung	Passfeder



Einscheibentrockenkupplung

Eigenschaften	
Merkmale	Werte
Übertragbares Drehmoment	42 Nm
Art des Naben-werkstoffes	Aluminium
Anzahl der Elasto-merelemente	
Farbe	grau
Art der Welle-Nabe-Verbindung	Flansch



Asynchronmotor

Eigenschaften	
Merkmale	Werte
Übertragbares Drehmoment	
Art des Naben-werkstoffes	
Anzahl der Elasto-merelemente	
Farbe	blau
Art der Welle-Nabe-Verbindung	

abnehmende Ähnlichkeit

Bild (B832konD) Objekte mit unterschiedlicher Ähnlichkeit im Vergleich

In der Produktentwicklung werden virtuelle Objekte erarbeitet, z. B. Wirkprinzipien. Sind virtuelle Objekte ähnlich, nennt man sie Varianten. Die Ähnlichkeit der Varianten bezieht sich dabei auf eine definierte Teilmenge von Eigenschaften. Sind z. B. alle Varianten Lösungen für dieselbe Teilfunktion, sind diese Varianten funktionell ähnlich. Weisen alle Varianten eine Quaderform auf, sind sie gestalt-ähnlich. Bestehen sie alle aus Kunststoff, sind sie werkstoff-ähnlich.

4.3.3. Innere und äussere Eigenschaften

Eigenschaften von Objekten lassen sich in innere und äussere Eigenschaften klassifizieren [Birkhofer 1980 (1)], [Hubka 1984 (1)].

Definition: Innere Eigenschaften kennzeichnen den Aufbau des Objekts und sind meist elementare Eigenschaften, die nicht mehr weiter unterteilbar sind.

Innere Eigenschaften von Objekten legt der Entwickler direkt z. B. durch Skizzen oder Zeichnungen fest. Innere Eigenschaften von Bauelementen sind z. B. der Durchmesser einer Welle, die Lage zweier Schweissteile oder die Form eines Freistiches. Innere Eigenschaften sind gleichsam das „Baumaterial", das dem Entwickler bei der Gestaltung zur Verfügung steht.

Definition: Äussere Eigenschaften beschreiben die Wirkungen des Produkts auf sein Umfeld und ergeben sich aus inneren Eigenschaften in einer spezifischen Verknüpfung.

Äussere Eigenschaften kennzeichnen die sichtbaren, messbaren bzw. erfahrbaren „Wirkungen" des Objekts nach aussen. Äussere Eigenschaften sind z. B. die Leistung, die Kosten, die Qualität, das Gewicht, das ansprechende Design eines Produkts. Der Entwickler kann die äusseren Eigenschaften nicht direkt festlegen, er kann sie nur durch die Festlegung von inneren Eigenschaften beeinflussen.

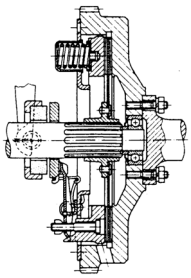
Technisches Objekt	Eigenschaft Merkmal & Wert	aus Wertmenge bzw. Wertbereich
Einscheiben- und Trockenkupplung 	Eigenschaft 1 (äussere Eigenschaft): übertragbares Drehmoment: 75 Nm	0 -x [Nm]
	Eigenschaft 2 (innere Eigenschaft): Anzahl der Anpressfedern: 5 Stück	1 - n
	Eigenschaft 3 (innere Eigenschaft): Form der Kupplungsscheibe: plan	plan, gelocht, gewellt...

Bild (B006konZ) Beispiele für innere und äussere Eigenschaften einer Einscheiben-Trockenkupplung

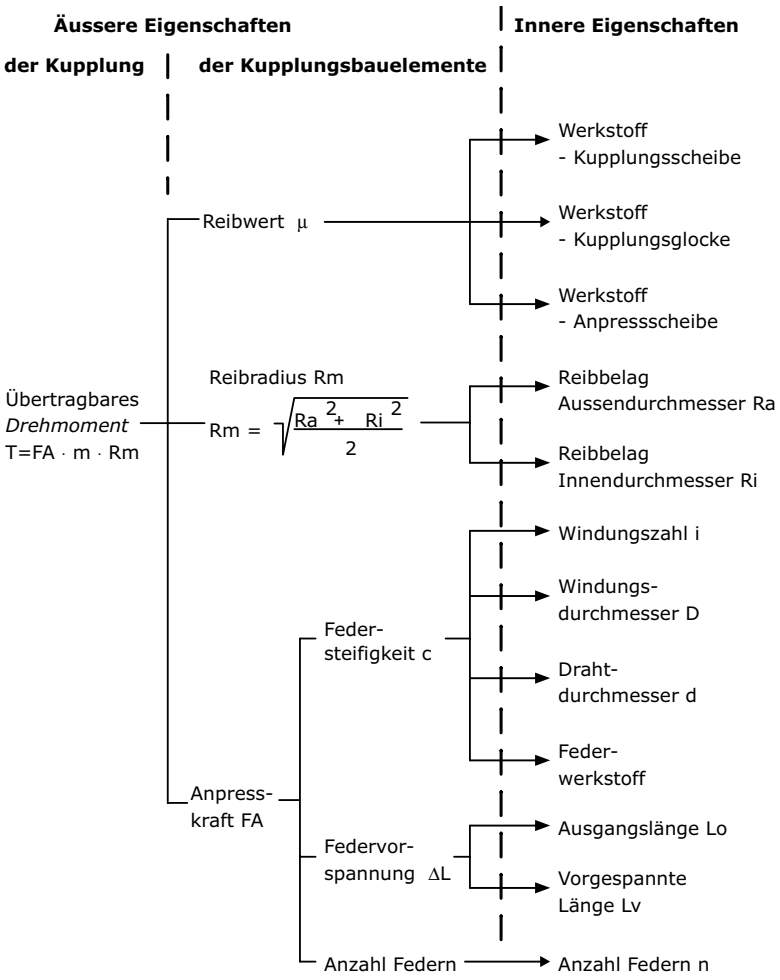


Bild (B833konD) Rückführung von äusseren Eigenschaften der Einscheiben-Trockenkupplung auf innere Eigenschaften am Beispiel „übertragbares Drehmoment"

Entwickler legen die inneren Eigenschaften gezielt so fest, dass die geforderten bzw. gewünschten äusseren Eigenschaften erreicht werden. Durch eine Festigkeitsrechnung lässt sich der Werkstoff einer Welle festlegen, die Welle ist dann dauerfest. Durch jede Festlegung werden viele weitere äussere Eigenschaften betroffen, z. B. die biegekritische Drehzahl, die Vergütbarkeit oder die Fertigungskosten der Welle. Dieser „Hydra-Effekt" beschreibt, dass mit der Lösung eines Problems sofort neue Probleme aufgeworfen werden. Produktentwicklung ist daher recht treffend mit einem Optimierungsprozess zu vergleichen, bei dem eine Lösung in einem nichtlinearen, hochgradig überbestimmtem Gleichungssystem mit einer Unzahl von unabhängigen und abhängigen Variablen gesucht werden muss [Franke 1976 (1)].

Verschärfend kommt hinzu, dass es nicht von vorneherein gesichert ist, dass Kunden ihre Forderungen vollständig und exakt formulieren, dass Entwickler diese Forderungen ohne eigene Interpretation in identische Anforderungen umsetzen, und Kunden in ihrer Wahrnehmung des ausgelieferten Produkts völlig objektiv sind. Es ist jedoch offensichtlich, dass der Markterfolg eines Produkts das Funktionieren dieser „Wirkungskette" voraussetzt.

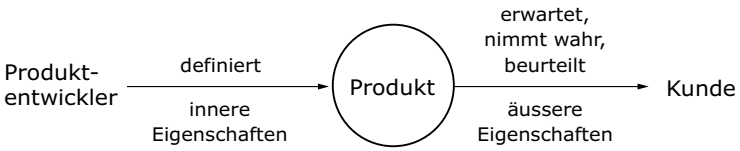


Bild (B834konD) Die Produktentwicklung als Optimierungsaufgabe

Insofern ist die Kenntnis der Zusammenhänge in der Produktentstehung und der Dualität zwischen inneren und äusseren Produkteigenschaften ein Schlüssel für das Verständnis der inneren Mechanismen in der Produktentwicklung.

4.3.4. Produktmodelle im Konzeptprozess

Beim diskursiven Vorgehen im Konzeptprozess gehen Entwickler schrittweise von abstrakteren zu konkreteren Produktbeschreibungen über. Dieser Übergang nutzt die Produktmodellkette:

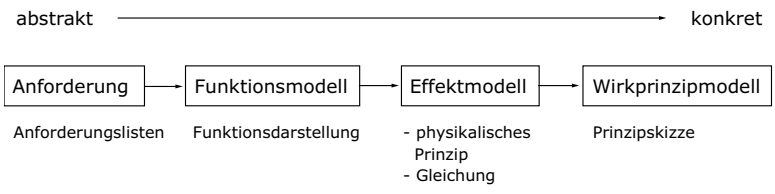


Bild (B908konZ) Produktmodellkette

Die Eigenschaften der virtuellen Produkte werden schrittweise durch immer konkretere, auf den einzelnen Produktmodellen basierenden Beschreibungen präzisiert. Das Beispiel des Leistungsschutzschalters (T019konD) zeigt exemplarisch den Übergang zwischen den einzelnen Beschreibungsarten der Produktmodelle.

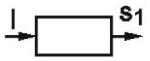
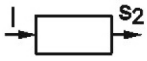
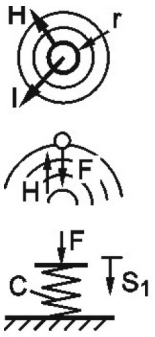
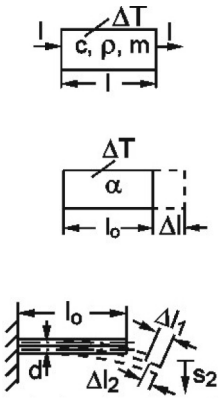
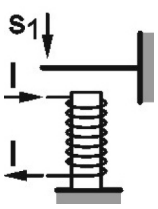
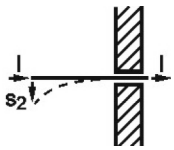
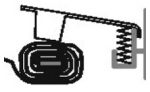
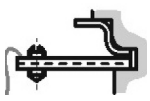
Produktmodell		Lösung 1	Lösung 2
Physikalische Funktion		$s_2 = f(I)$ Elektromagnetisches Auslösen bei Überstrom	$s_2 = f(I)$ Thermisches Auslösen bei Überstrom.
			
		Strom in Verschiebung wandeln	
Physikalischer Effekt	Darstellung		
	Gleichung und Benennung	$H = \frac{1}{2\pi r}$	$T = \frac{I^2 Rt}{cm}$
		Durchflutung	Erwärmung durch einen Widerstand
		$F = f(H,x)$	$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$
		Magnetisierung	Wärmedehnung
		$s_1 = \frac{1}{c} \cdot F$	$s_2 = f(L_0, d, \Delta l_i)$
		Federsteifigkeit	Wegumlenkung
Wirkprinzip, Wirkstruktur			
Grobentwurf			

Tabelle (T019konD) Übergang zwischen den einzelnen Beschreibungsarten am Beispiel eines Leistungsschutzschalters

Funktion:

Stromkreis trennen bei Überstrom

Produkt:

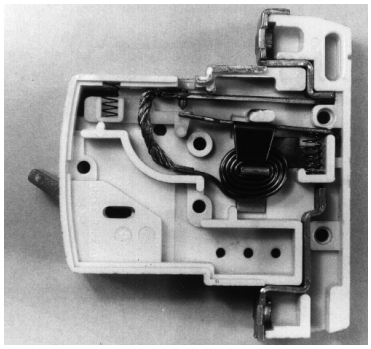


Bild (B928konZ) Leistungsschutzschalter (Haushaltssicherungsautomat) mit Gesamtfunktion

Jedes Produktmodell hat einen eigenen Satz an Merkmalen. Für ein bestimmtes Objekt wie den Leistungsschutzschalter müssen dafür die Werte festgelegt werden:

- Bei der Funktionsbeschreibung die Grössen und Operationen, z.B. Eingangsgrösse Strom wandeln in Signal
- Bei der Beschreibung der physikalischen Effekte die Geometrie- und Stoffgrössen, z.B. Wärmekapazität c oder Ausgangslänge l_0
- Bei der Beschreibung der Wirkprinzipien weitere Geometrie- und Stoffgrössen, z.B. die Anordnung der Spule und des Ankers oder die Einspannung des Bimetallstreifens

Das schrittweise Konkretisieren mit unterschiedlichen Beschreibungen hilft enorm, einen überschaubaren Gestaltungsspielraum zu behalten, alles bedenken zu können und nichts zu vergessen.

4.3.5. Systematische Variation

Definition: Die systematische Variation ist eine grundsätzliche, auf jedes Objekt anwendbare, diskursive Methode zum Generieren von Varianten und zum Erstellen eines vollständigen Lösungsfeldes.

Beim systematischen Variieren werden relevante innere Eigenschaften von Ausgangsobjekten benannt, durch Zuordnen aller Werte zu den entsprechenden Merkmalen ergänzt und systematisch zu Eigenschaftskombinationen verknüpft.

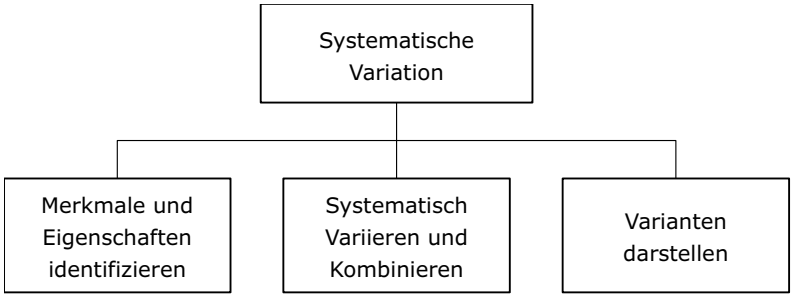


Bild (B835konD) Systematische Variation – Struktur und Verlauf

Das systematische Variieren enthält bekannte Varianten, ergibt aber durch die generische Kombination der Eigenschaften oft so genannte „weisse Felder" mit unbekannten Varianten, die dann hinsichtlich ihrer Eignung als Lösungen weiter untersucht werden können.

Im folgenden wird das Vorgehen beim systematischen Variieren erläutert.

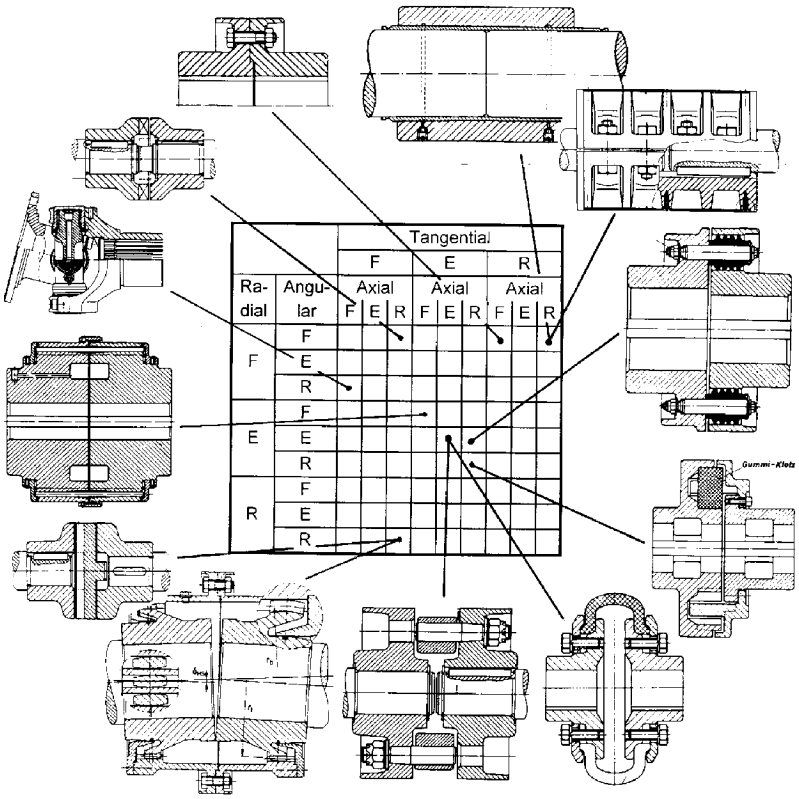


Bild (B836konD) Variantenfeld mit bekannten Varianten und weissen Feldern
(F: Formschluss; E: Elastischer Schluss; R: Reibschluss)

1. Ausgangsobjekte ermitteln

Als Grundlage für die systematische Variation können bekannte Lösungen, z. B. eigene oder Wettbewerbslösungen, Schutzrechte oder Zulieferkomponenten herangezogen werden. Es fällt im Allgemeinen leichter, bekannte Lösungen hinsichtlich relevanter Merkmale zu analysieren als sich Lösungen ohne Vorbilder „auszudenken".

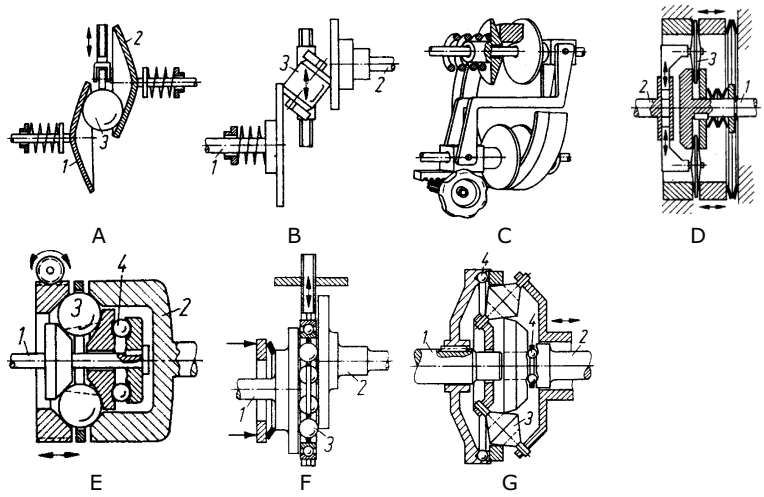
2. Variationsmerkmale ermitteln

Für die Variation werden nur innere Eigenschaften herangezogen. Systematische Variation kann sehr schnell zu einem grossen, kaum mehr überschaubaren Variantenspektrum führen. Es ist deshalb unmöglich, alle denkbaren Varianten zu erzeugen. Dies ist auch unsinnig, da es für eine konkrete Aufgabe immer auf ganz bestimmte Merkmale von Produktmodellen ankommt, die es vor der Variation zu ermitteln gilt. Für die Effizienz der Variationsarbeit ist es deshalb wichtig nur wesentliche Eigenschaften zu variieren.

Formal eignen sich Merkmale für eine systematische Variation besonders gut, wenn sie

- disjunkte oder gar binäre Werte besitzen (z. B. ruhend, bewegt)
- klar abgrenzbare Werte besitzen (z. B. translatorisch, rotatorisch)
- endliche Wertebereiche mit wenigen Werten aufweisen (im allgemeinen ungeeignet sind z. B. Abmessungen)
- Klassen bilden, in dem Wertebereiche mit einer Vielzahl von Werten bzw. einem Wertkontinuum in disjunkte Bereiche unterteilt werden (z. B. 0–10, >10–20, >20–30, usw.).

Folgendes Bild zeigt ein Beispiel für eine systematische Variation mit „gut geeigneten" Merkmalen.



Systematik Verstellgetriebe

Anzahl der Übertragungselemente	Richtung der Verstellung	Form der Übertragungselemente	Beispiel
1	radial	Kugel	A
		Ring	
		Rolle	B
	axial	Kugel	
		Ring	C
		Rolle	
>1	radial	Kugel	F
		Ring	
		Rolle	D
	axial	Kugel	E
		Ring	
		Rolle	G

Bild (B837konD) Systematische Variation
am Beispiel von stufenlos verstellbaren Reibradgetrieben

Die Vollständigkeit des Variantenfeld bezieht sich ausschliesslich auf die für die Variation ausgewählten Merkmale und Werte. Die Variation anderer Merkmale kann zu anderen und neuen Varianten führen. Insofern kommt der Wahl der zu variierenden Merkmale eine besondere Bedeutung zu.

3. Eigenschaften systematisch variieren

Durch Zuordnen aller Werte bzw. Wertebereiche (Ausprägungen) zu den ausgewählten Merkmalen erhält man ein vollständiges Eigenschaftsspektrum. Ein besonderer Vorteil dieses Vorgehens ist es, dass man dabei nicht bei den bekannten Eigenschaften verharrt, sondern durch die Systematik gleichsam zwangsläufig zu neuen Varianten hingeführt wird.

4. Eigenschaften systematisch kombinieren – vollständiges Kombinieren von Eigenschaften

Mit einer vollständigen Kombination wird ein vollständiges Variantenfeld erzeugt.

Definition: Kombinieren ist eine mathematische Methode, die Elemente aus einer Elementmenge systematisch zu vollständigen Kombinationen verknüpft, wobei sich diese Kombinationen nur durch die Art der in ihnen enthaltenen Elemente unterscheiden [Franke 1976 (1)].

Jede Kombination von Eigenschaften repräsentiert eine eigene Variante, z. B. die Variante A1-B2-C1.

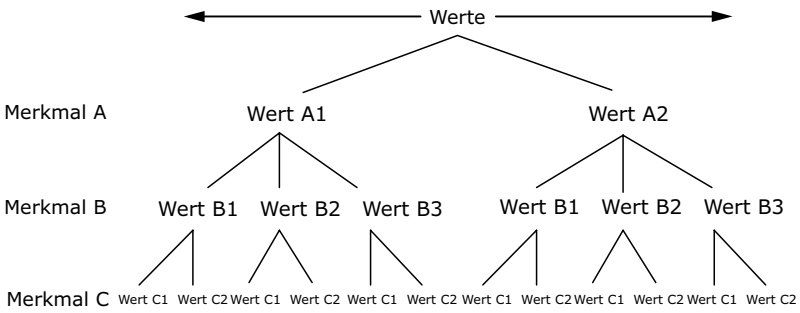


Bild (B838konD) Vollständige Kombination von Eigenschaften, dargestellt in einem Variantenbaum. Ai, Bj, Ck = Eigenschaften

Die maximale Anzahl an Varianten ergibt sich als Produkt der jeweiligen Gesamtzahl an Werten/Merkmal.

Vorteile:

- Die Kombinatorik stellt durch ihr algorithmisches Vorgehen sicher, dass keine Variante „verloren geht".
- Sie lässt sich als mathematisches Verfahren programmieren und kann damit den Aufwand für das Kombinieren stark reduzieren.

Nachteile:

- Kombinieren ist ein reines Generierungsverfahren, das neben geeigneten auch ungeeignete und unsinnige Kombinationen erzeugt. Deshalb ist immer eine Beurteilung erforderlich.

Der Aufwand eines vollständigen Lösungsfeldes lohnt sich besonders bei Innovationsvorhaben mit besonderer Tragweite für das Unternehmen und bei Schutzrechtsanmeldungen, um alle Möglichkeiten, das Patent zu umgehen von vornherein auszuschliessen.

5. Eigenschaften systematisch kombinieren - alternierende Kombination und Auswahl von Eigenschaften

Wenn eine vollständige systematische Kombination nicht möglich ist oder nicht zweckmässig erscheint, kann eine alternierende Kombination und Auswahl [Birkhofer 1980 (1)] durchgeführt werden.

Definition: Eine alternierende Kombination und Auswahl integriert Auswahlschritte in das Generierungsverfahren, indem nach jedem Kombinationsschritt sofort die erzeugte Kombination beurteilt wird.

Bei der alternierenden Kombination und Auswahl von Eigenschaften wird der Variantenbaum erstellt, wobei nach jeder weiteren Zuordnung von Eigenschaften sofort ein Auswahlverfahren durchgeführt wird.

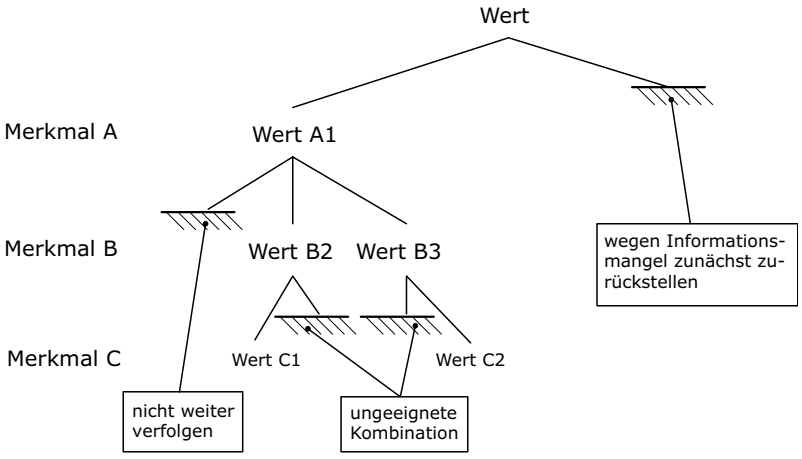


Bild (B839konD) Alternierende Kombination und Auswahl

Die alternierende Kombination ist sehr effizient, da beim Auswählen insbesondere in frühen Kombinationsschritten ganze Äste des Variantenbaums abgeschnitten.

4.3.6. Systematische Variation von Produktmodellen

Im folgenden soll die systematische Variation von Physikalischen Effekten und Wirkprinzipien besprochen werden.

Systematische Variation der Physikalischen Effekte

Die meisten technischen Produkte basieren auf physikalischen Effekten [Rodenacker 1984 (1)].

Definition: Ein physikalischer Effekt ist eine physikalische Erscheinung bzw. der Ablauf eines physikalischen Geschehens. Ein physikalischer Effekt ist durch Gesetze (z.B. Erhaltungssätze) beschreibbar und für technische Anwendungen nutzbar.

Neue Lösungen können durch die Variation physikalischer Effekte und/oder Ändern deren Reihenfolge erarbeitet werden.

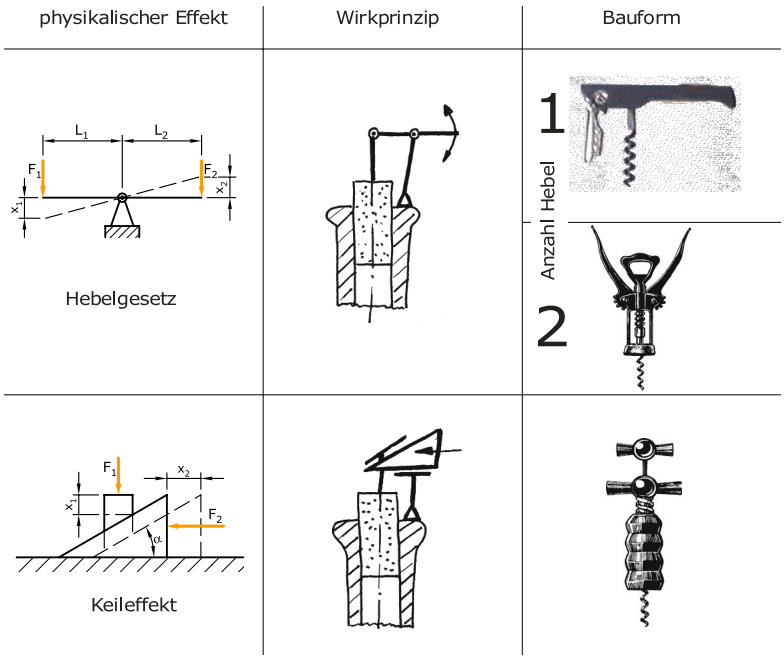


Bild (B840konD) Korkenzieher mit Kraftverstärker als Beispiel für unterschiedliche Physikalische Effekte

Die Variation des physikalischen Effekts erfolgt durch Verändern der inneren Eigenschaften der Effekte.

Merkmale	Wertmenge (Beispiele)
Art des Effekts	Gravitation, Elastizität, Induktion, Wärmedehnung, ...
Effektklasse	mechanisch, pneumatisch, hydraulisch, elektrisch, magnetisch, optisch, thermisch, chemisch, biologisch
Schlussart	Stoffschluss, Formschluss, Kraftschluss, elastischer, Reibkraft-, Feldkraftschluss

Tabelle (T020konD) Merkmale zur Variation der inneren Eigenschaften von physikalischen Effekten (Auswahl)

Zur Unterstützung für die Produktentwicklung stehen Konstruktionskataloge und Sammlungen physikalischer Effekte sowie eine Funktionsgrössenmatrix [Roth 1994 (1)] zum gezielten Erzeugen von Effektketten zur Verfügung.

Systematische Variation des Wirkprinzips

Die konkrete Gestaltung von physikalischen Effekten ergibt Wirkprinzipien.

Definition: Ein Wirkprinzip ist die Konkretisierung eines physikalischen Effekts unter Festlegung geeigneter geometrischer, kinematischer und stofflicher Eigenschaften.

Wirkelemente

Ein Wirkprinzip besteht aus Wirkraum, Wirkkörper, Wirkflächen und Wirkbewegung, zusammengesetzt Wirkelemente genannt [Pahl, Beitz 1993 (1)].

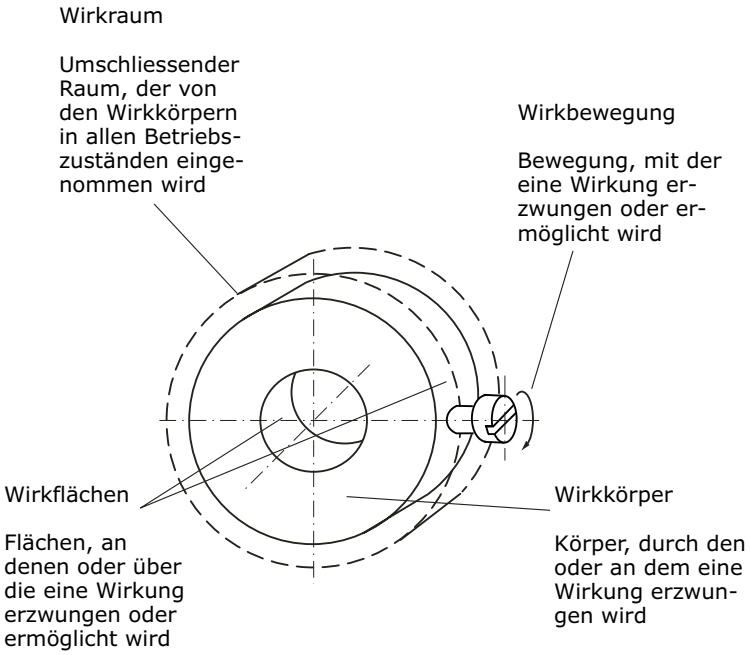


Bild (B841konD) Wirkelemente am Beispiel eines Klemmrings

Wirkflächen und Wirkkörper können neben mechanischen auch z. B. elektrische oder thermische Wirkungen übertragen.

Systematische Variation der Wirkelemente

Neue Lösungen können durch das Ändern von Wirkprinzipien bzw. Ändern ihrer Anordnung (Wirkstrukturen) erarbeitet werden.

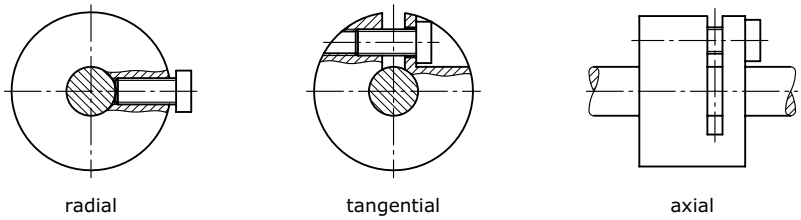


Bild (B842konD) Systematische Variation der Klemmschrauben – Anordnungam Beispiel von Klemmringen.

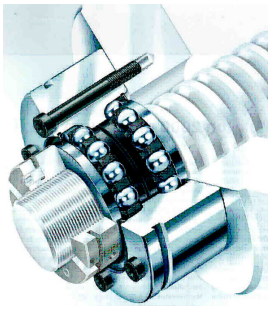


Bild (B843konD) Axialer Klemmring zur reibkraftschlüssigen Sicherung einer Wellenmutter (Quelle: http://www.ina.de/inaupdate/index.asp)

Die systematische Variation von Wirkstrukturen variiert Wirkprinzipien bzw. deren Anordnung. Wirkprinzipien haben Wirkelemente mit inneren Eigenschaften, eine Auswahl der Merkmale ist in Tabelle T021konZ dargestellt.

Wirkelement	Merkmal	Wertmenge
Wirkkörper	Form	Würfel, Quader, Kugel, Zylinder, Kegel
	Art	symmetrisch, asymmetrisch
	Zustand	Stückgut, Schüttgut
	Verhalten	fest, flüssig, gasförmig, starr, elastisch, plastisch, viskos
	Abmessung	Länge, Breite, Höhe, Durchmesser
	Anzahl	einfach, doppelt, mehrfach
	Anordnung	zusammenhängend, geteilt, axial, radial, tangential, vertikal, horizontal, schräg, parallel, seriell)
Wirkfläche	Form	punktförmig, linienförmig, flächig, Dreieck, Quadrat, Rechteck, Polygon, Kreis wie Wirkkörper
	Anzahl / Anordnung	punktförmig, linienförmig, flächig, Dreieck, Quadrat, Rechteck, Polygon, Kreis wie Wirkkörper

Tabelle (T021konD) Merkmale zur Variation der inneren Eigenschaften von Wirkelementen (Auswahl)

Wirkelement	Merkmal	Wertmenge
Wirkbewegung	Art	ruhend, bewegt
	Form	translatorisch, rotatorisch, kombiniert, gleitend, wälzend, (rollend), gleichförmig, ungleichförmig, kontinuierlich, intermittierend
	Richtung	oszillierend, linear, eben, räumlich in x- y-, z-Richtung um x-, y-, z-Achse
	Betrag	langsam, mässig, schnell
	Anzahl	eine, mehrere, zusammengesetzte Bewegungen

Tabelle (T021konD) Merkmale zur Variation der inneren Eigenschaften von Wirkelementen (Auswahl)

4.3.7. Darstellen von Varianten

Die systematische Variation liefert ein oft beachtlich grosses Variantenspektrum, das bevorzugt als Variantenbaum oder Ordnungsschema [Dreibholz 1975 (1)] dargestellt wird. Damit lassen sich sowohl die Varianten selbst als auch der Variationsweg übersichtlich darstellen. Gleichzeitig wird das Einordnen bekannter Lösungen erleichtert und das Finden neuer Varianten in so genannten „weissen Feldern" unterstützt.

Variantenbaum

Definition: Ein Variantenbaum ist die visuelle Darstellung (Baumstruktur) der durch Kombinieren erhaltenen Varianten.

In einem Variantenbaum wird die Kombination der Werte aller Merkmale als Baumstruktur dargestellt.

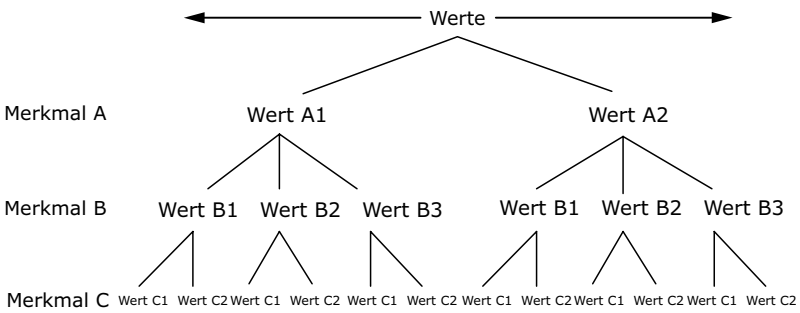


Bild (B838konD) Variantenbaum für Eigenschaftskombinationen schematisch mit drei Ebenen

Der Vorteil von Variantenbäumen ist ihre Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit. Sie eignet sich besonders für die Darstellung kleineren Variantenspektren. Grössere Variantenspektren ergeben unübersichtliche und ausladende Darstellungen.

Darstellen von Systematiken in Ordnungsschema

Definition: Ein Ordnungsschema ist ein Ordnungssystem in Matrizenform [Dreibholz 1975 (1)], in dem die gliedernden Eigenschaften (nach [Pahl, Beitz 1993 (1)] auch „Ordnende Gesichtspunkte“) mit Merkmalen und Werten zueinander in den Kopfspalten und Kopfzeilen aufgetragen sind.

Ordnungsschemata sprechen in besonderem Masse die ingenieurmässige Vorstellung durch ihre Matrixstruktur an.

M A		W 1			W 2		
M B		W 1	W 2	W 3	W 1	W 2	W 3
M C	W 1	V 1	V 3	V 5	V 7	V 9	V 11
	W 2	V 2	V 4	V 6	V 8	V 10	V 12

Tabelle (T022konD) Ordnungsschema mit 3 Merkmalen;
M = Merkmale, W = Wert, V = Variante

Je nach Aufteilung der Merkmale auf Kopfspalten und -zeilen ergeben sich für die gleiche Variantenmenge unterschiedliche Ordnungsschemata. Ein konkretes Ordnungsschema mit zwei Merkmalen zeigt Bild844konZ.

Auftragsvor-richtung / Streifen	A_1 ruhend	A_2 translat.	A_3 oszillier.	A_4 rotierend	A_5 rotierend + translat.	A_6 rotierend + oszillier.	A_7 oszillier. + translat.
B_1 ruhend							
B_2 translatorisch							
B_3 oszillierend							
B_4 rotierend							
B_5 rotierend +translatorisch							
B_6 rotierend + oszilierend							
B_6 oszilierend + translatorisch							

Bild (B844konD) Systematische Variation der Wirkbewegung von Streifen und Auftragsvorrichtung zum Beschichten von Teppichbahnen (Pahl, Beitz-97)

Die Vorteile von Ordnungsschemata sind ihre Übersichtlichkeit, die Platz sparende, ordnungsbetonte Darstellung. Zudem können in die Matrixfelder Skizzen und Bemerkungen eingetragen werden.

Nachteilig ist bei einer zunehmenden Gliederungstiefe die recht schnell anwachsende Unübersichtlichkeit.

5. Prinzipielle Gesamtlösungen

Ein Produkt erfüllt mehrere Teilfunktionen, von denen jede grundsätzlich durch mehrere Teillösungen erfüllt werden kann. Wählt man für jede Teilfunktion eine Teillösung aus und verknüpft sie untereinander, erhält man eine Konzeptvariante; auch Prinzipielle Gesamtlösung genannt.

Prinzipielle Gesamtlösungen werden im Konzeptprozess zum Abschluss der Lösungsfindung erarbeitet.

Voraussetzung für das Erarbeiten Prinzipieller Gesamtlösungen sind eine detaillierte Anforderungsliste und eine Funktionsgliederung mit zugeordneten Teillösungen.

Dieser Teillösungsvorrat wird zuerst in einem Ordnungsschema (Morphologischer Kasten) übersichtlich dargestellt. Diese lassen sich durch systematisches Kombinieren der Teillösungen vollständig erzeugen und z. B. in Variantenbäumen darstellen. Im allgemeinen ergibt sich aus der systematischen Kombination eine Variantenflut, aus der nun in einem Arbeitsschritt aussichtsreiche Gesamtlösungen extrahiert werden müssen. Dazu werden Methoden wie Reduktionsstrategien eingesetzt. Durch eine anschliessende Beurteilung dieser Konzeptvarianten lassen sich erfolgsversprechende Gesamtlösungen ermitteln.

Prinzipielle Gesamtlösungen werden vorzugsweise dann erarbeitet, wenn der Überblick über das Lösungsfeld wichtig ist, z. B. bei Neuentwicklung mit besonderer Tragweite oder bei der Absicherung eigener bzw. der Umgehung fremder Schutzrechtsansprüche.

5.1. Teillösungen den Teilfunktionen zuordnen

Um Konzeptvarianten zu bilden, benötigt man einen Überblick über die Teilfunktionen und die zugeordneten Teillösungen. Diesen Überblick kann man besonders anschaulich durch ein Ordnungsschema (Morphologischer Kasten) erreichen.

Definition: Der Morphologische Kasten ist ein spezielles Ordnungsschema zur Darstellung von Teilfunktionen und zugehörigen Teillösungen in Matrixform.

Die Methode des Morphologischen Kastens wurde von [Zwicky 1971 (1)] entwickelt, um die „Totalität aller Lösungen“ für eine Entwicklungsaufgabe übersichtlich darzustellen. Morphologisch bedeutet „gestaltgebend“ und soll das Erarbeiten eines Überblicks über ein Lösungsspektrum andeuten. Der Morphologische Kasten ist auch unter den Bezeichnungen „Morphologisches Schema“ oder nur „Morphologie“ bekannt.

Teil-Funktionen	Teillösungen				
	1	2	3	4	Allgemein
TA	A_1	A_2	A_3	A_4	A_i
TB	B_1	B_2	B_3	B_4	B_j
TC	C_1	C_2	C_3	C_4	C_k
TD	D_1	D_2	D_3	D_4	D_l

Tabelle (T023konD) Morphologischer Kasten (schematisch)

Die Teilfunktionen werden in der Regel in der Zeile aufgelistet. In den Spalten werden die Teillösungen in textueller oder bildlicher Form eingeführt. Für die Teilfunktionen existieren unterschiedliche Lösungsmengen, somit ungleich gefüllte Felder in der Zeile.

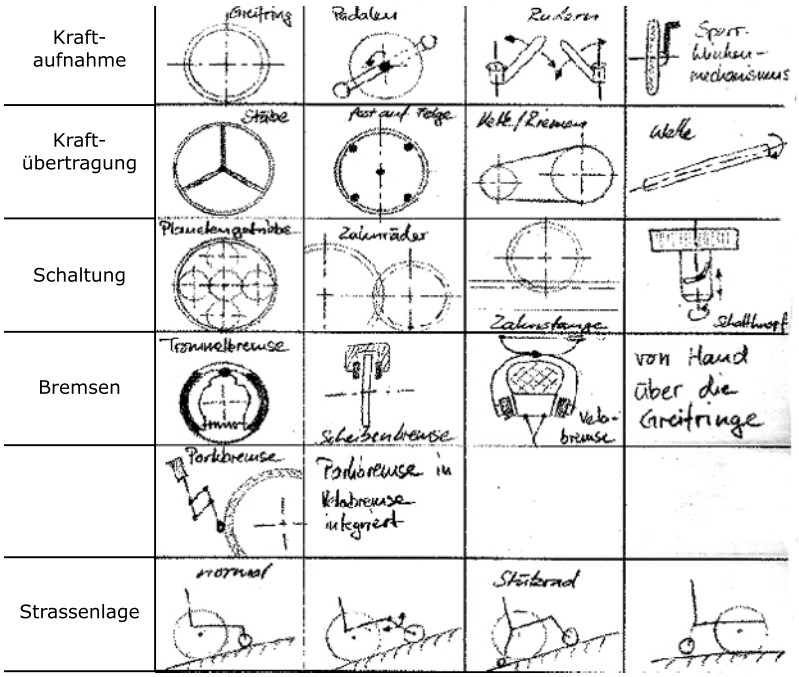


Bild (B101gesZ) Ausschnitt aus einer Lösungssammlung für die Entwickler eines schaltbaren Rollstuhles (ETH 96 / 97)

Der Morphologische Kasten bietet eine Übersicht über den Lösungsraum und erleichtert die Diskussion über potentielle Gesamtlösungen.

5.2. Teillösungen kombinieren

Teillösungen müssen nun zu Gesamtlösungen verknüpft werden. Dabei kann die Kombinatorik wegen ihrer systematischen Vorgehensweise hilfreich sein.

Definition: *Kombinieren ist eine mathematische Methode, die Elemente aus einer Elementmenge systematisch zu vollständigen Kombinationen verknüpft.*

Jede Kombination der im Morphologischen Kasten enthaltenen Teillösungen A_i, B_j, C_k, D_e repräsentiert eine eigene Konzeptvariante, z. B. die Konzeptvariante A_2, B_3,C_1, D_2 (siehe: Tabelle T024konZ).

Teil-Funktionen (T)	Teillösungen			
	1	2	3	4
T A	A_1	A_2		
T B	B_1	B_2	B_3	
T C	C_1	C_2	C_3	C_4
T D	D_1	D_2		

Tabelle (T024konD) Kombination von Teillösungen A_2, B_3, C_1, D_2 im Morphologischen Kasten zur Gesamtlösung

Durch systematisches Kombinieren aller Teillösungen einer Teilfunktion mit allen Teilfunktionen der jeweils anderen Teilfunktionen entsteht ein vollständiges Variantenspektrum. Die maximale Anzahl N_x an Konzeptvarianten ergibt sich als Produkt der jeweiligen Gesamtzahl an Teillösungen.

$N_x = \Pi\ (A_m \cdot B_n \cdot C_o \cdot D_p)$; hier: $N_x = 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 2 = 48$

- Vorteile:
  - Die Kombinatorik stellt durch ihr algorithmisches Vorgehen sicher, dass keine Konzeptvariante „verloren geht".
  - Sie lässt sich als mathematisches Verfahren programmieren und kann damit den Aufwand für das Kombinieren stark reduzieren.
- Nachteile:
  - Kombinieren ist ein reines Generierungsverfahren, das neben geeigneten auch ungeeignete und unsinnige Kombinationen erzeugt. Deshalb ist immer eine Beurteilung erforderlich.

5.3. Varianten darstellen

Die durch Kombination ermittelten Konzeptvarianten lassen sich in einem morphologischen Kasten [Dreibholz 1975 (1)] oder in einem Variantenbaum darstellen.

Innerhalb des morphologischen Kastens können aussichtsreiche Kombinationen durch graphische Hilfsmittel (Verbindungslinien, farbige Fäden, …) sehr gut dargestellt werden.

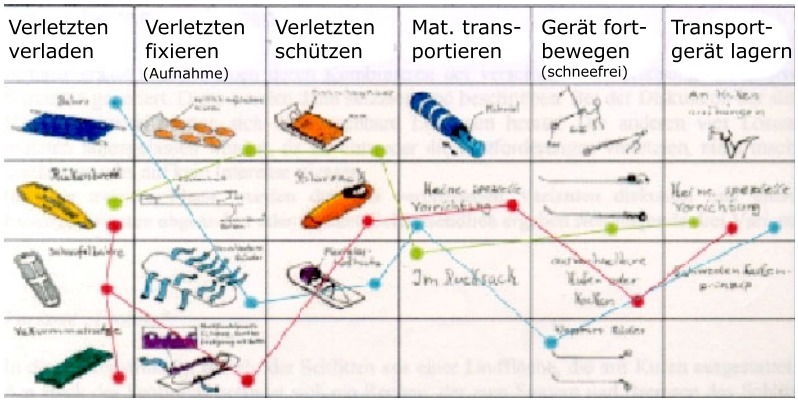


Bild (B102gesZ) Darstellung von Gesamtlösungen im morphologischen Kasten durch Verbinden der Teillösungen; in dieser Darstellung sind die Funktionen in den Spalten und die Teillösungen in den Zeilen dargestellt (ETH 98 / 99 Entwicklung eines Rettungsschlittens)

Definition: Ein Variantenbaum ist die visuelle Darstellung (Baumstruktur) der durch Kombinieren erhaltenen Varianten als Verkettung ihrer Elemente.

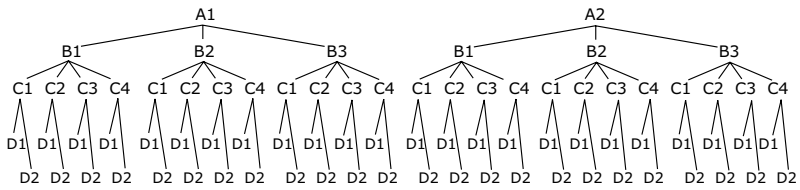


Bild (B103gesZ) Variantenbaum für alle Konzeptvarianten des Morphologischen Kastens

5.4. Variantenflut beherrschen

Die beim Erarbeiten von Konzeptvarianten genutzte Kombinatorik ist ein reines Generierungsverfahren. Sie liefert deshalb keinerlei Hinweise auf die Eignung und Qualität der kombinierten Varianten. Daraus ergeben sich drei Probleme:

1. Problem der Variantenfülle: Bereits bei mittleren Anzahlen von Teilfunktionen und Teillösungen ergeben sich schon 10^3–10^4 theoretisch mögliche Konzeptvarianten (z. B. 3125 Konzeptvarianten bei 5 Teilfunktionen mit je 5 Teillösungen).
2. Problem des Variantenschrotts: Erfahrungsgemäss sind mehr als 95% der theoretisch möglichen Konzeptvarianten untauglich. Ein Elektromotor z. B. ist funktionell unverträglich mit einem nachgeschalteten Hydraulikzylinder.
3. Problem der geringen Ausbeute an guten und eigenständigen Konzeptvarianten: Die prinzipiell möglichen Konzeptvarianten enthalten meist viele mittelmässige oder sich nur unwesentlich unterscheidende Konzeptvarianten. Erfahrungsgemäss ergeben viele mittelmässige Teillösungen meistens eine schlechte Gesamtlösung, die Mittelmässigkeit verstärkt sich. Auch sehr ähnliche Varianten werden von der Kombinatorik als eigenständige Varianten generiert, obwohl vielleicht nur unwesentliche Unterschiede in der Realisierung einer Teilfunktion bestehen.

Das Hauptproblem beim Erarbeiten Prinzipieller Gesamtlösungen ist das effiziente Ermitteln der optimalen Konzeptvariante(n) aus dem möglichen Variantenspektrum [Birkhofer 1980 (1)].

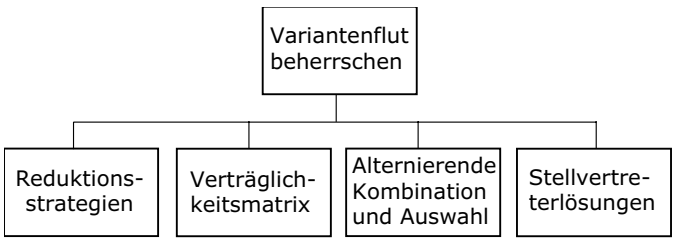


Bild (B104gesD) Methoden zum Beherrschen der Variantenflut beim Erarbeiten prinzipieller Gesamtlösungen

5.4.1. Reduktionsstrategien für Morphologische Kästen

Reduktionsstrategien sind Vorgehensvorschläge, die einen Morphologischen Kasten so reduzieren, dass aussichtsreiche Konzeptvarianten

mit geringerem Aufwand gewonnen werden können [Birkhofer 1980 (1)].

Gelingt es, die Anzahl der Teilfunktionen und Teillösungen vor der Kombination sinnvoll zu reduzieren, müssen deutlich weniger Konzeptvarianten generiert werden und der Kombinations- und Beurteilungsaufwand kann drastisch abnehmen.

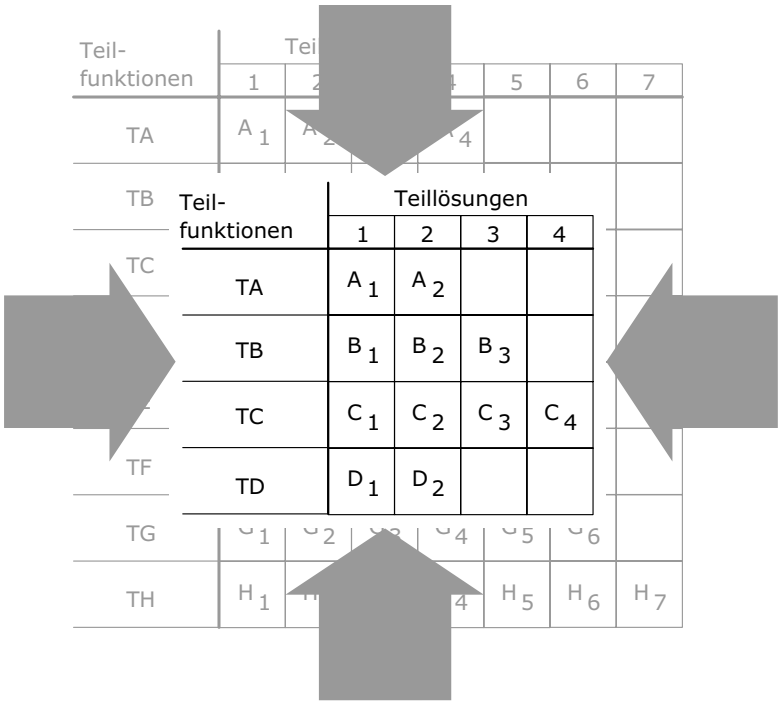


Bild (B845konD) Die Wirkung von Reduktionsstrategien

Es hat sich bewährt, Reduktionsstrategien in der nachfolgend genannten Reihenfolge anzuwenden:

- *Strategie 1:* Teilfunktionen nach Wichtigkeit ordnen
- *Strategie 2:* Weniger wichtige oder lösungsbestimmende Teilfunktionen für die erste Kombination zurückstellen
- *Strategie 3:* Weniger geeignete Teillösungen für die erste Kombination zurückstellen
- *Strategie 4:* Einzelne Teillösungen zu Teillösungsklassen zusammenfassen

Mit den zurückgestellten Teilfunktionen und Teillösungen können in einem späteren Schritt die aussichtsreichen Konzeptvarianten angereichert werden.

- Vorteile:

- Der Morphologische Kasten kann erheblich reduziert und die Anzahl an Konzeptvarianten drastisch eingeschränkt werden.
- Man erkennt in einem reduzierten Morphologischen Kasten wesentlich besser die aussichtsreichen Konzeptvarianten (so genannte Stellvertreterlösungen).

- Nachteile:
  - Werden Teillösungen zurückgestellt, fallen damit ganze Lösungszweige aus dem Variantenbaum weg. Ein Zurückstellen muss daher gut überlegt werden und erfordert oft eine Vorausschau auf spätere Lösungseigenschaften.

5.4.2. Verträglichkeitsmatrix

Definition: Eine Verträglichkeitsmatrix ist ein spezielles Ordnungsschema für den vollständigen Paarvergleich von Elementen hinsichtlich ihrer Verträglichkeit [Birkhofer 1980 (1)].

Die Verträglichkeitsmatrix wird hier genutzt, um die Verträglichkeit zwischen allen Teillösungen eines Morphologischen Kastens zu untersuchen. In die Verträglichkeitsmatrix werden dazu alle Teillösungen eines Morphologischen Kastens in der Kopfzeile und in der Kopfspalte eingetragen.

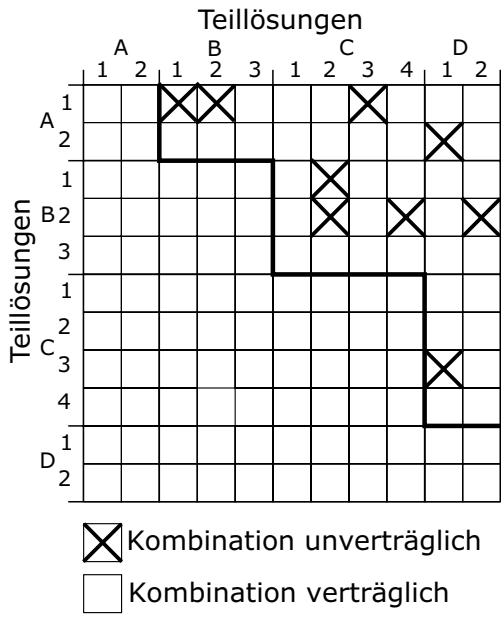


Bild (B846konD) Verträglichkeitsmatrix (theoretisch mögliche Konzeptvarianten 48, verbliebene Konzeptvarianten 14)

Eine Unverträglichkeit ist ein Widerspruch zwischen Teillösungen, der ihre Kombination verhindert [Birkhofer 1980 (1)]. Widersprüche können durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Teillösungen selbst begründet sein, z. B. durch Unterschiede in Handhabung, Design, Wirkprinzip oder Bauart. Widersprüche können aber auch aus nicht kompatiblen Anschlussbedingungen resultieren, z. B. Unverträglichkeit hinsichtlich geometrischer, kinematischer oder energetischer Anschlussbedingungen. Unverträglichkeiten führen zum Ausschluss einer Kombination.

Durch einen Paarvergleich werden alle Teillösungen miteinander verglichen und ihre Verträglichkeit beurteilt. Jede unverträgliche Zweierkombination wird in der Matrix gekennzeichnet. Es empfiehlt sich für spätere Rückgriffe, gleichzeitig auch den Grund der Unverträglichkeit zu dokumentieren. Da es sich um eine symmetrische Matrix handelt, reicht es aus, nur eine Hälfte oberhalb oder unterhalb der Hauptdiagonalen auszufüllen.

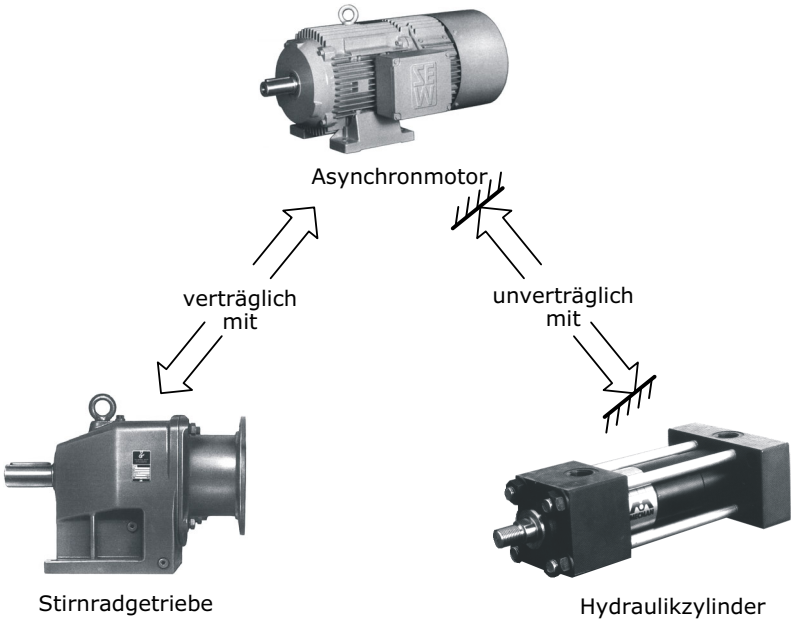


Bild (B847konD) Verträgliche und unverträgliche Zweierkombinationen bzw. Teillösungspaare (Quelle: www.boschrexroth.se, www.sew-eurodrive.de)

Vorteile:

- Die völlig von Konzeptvarianten losgelöste Betrachtung von Zweierkombinationen fördert erheblich die Objektivität der Beurteilung.
- Durch eine rechnerunterstützte Präsentation der Zweierkombinationen wird der Bearbeiter von jedem Kombinatorikaufwand entlastet und kann sich voll auf die Beurteilung konzentrieren.

Nachteile:

- Das Verfahren ist wegen seines schnellen Wechsels zwischen Vorstellungsbildern kognitiv extrem anspruchsvoll.
- Eine Fehlentscheidung kann erhebliche Auswirkungen auf die Vollständigkeit und Qualität der Konzeptvarianten haben, wird selbst aber nur schwer entdeckt.
- Es werden nur Verträglichkeiten von Zweierkombinationen betrachtet. Wirkungsketten in der Verträglichkeit zwischen mehr als 2 Teillösungen müssen durch eine nachgeschaltete Feinbeurteilung erfasst werden.

5.4.3. Alternierende Kombination und Auswahl

Definition: Eine alternierende Kombination und Auswahl integriert Auswahlschritte in das Generierungsverfahren, indem nach jedem Kombinationsschritt sofort die erzeugten Kombinationen beurteilt werden [Birkhofer 1980 (1)].

Bei der alternierenden Kombination und Auswahl von Konzeptvarianten wird der Variantenbaum erstellt, wobei nach jeder weiteren Zuordnung von Teillösungen sofort ein Auswahlverfahren durchgeführt wird. Daraus resultierende abgebrochene Äste des Variantenbaums werden üblicherweise durch einen Strich gekennzeichnet.

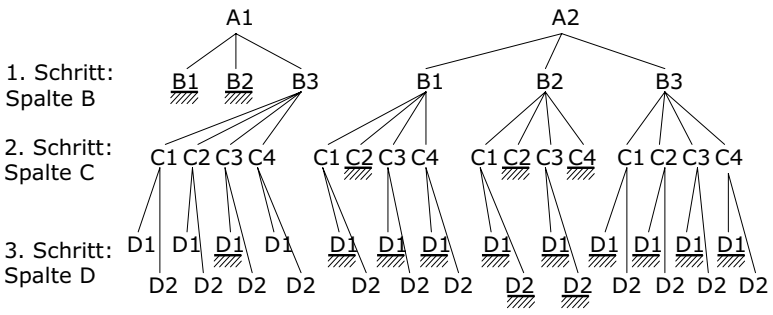


Bild (B108gesD) Alternierende Kombination und Auswahl (theoretisch mögliche Konzeptvarianten 48, verbliebene Konzeptvarianten 14)

Es empfiehlt sich, die Teilfunktionen vorher so zu ordnen, dass die lösungsbestimmenden Teilfunktionen zuerst kombiniert werden.

Die alternierende Kombination ist eines der effizientesten Verfahren zur Beherrschung der Variantenflut und wird bevorzugt nach der Anwendung der Reduktionsstrategien eingesetzt. Dabei können gleichzeitig die Eigenschaften der Teillösungen selbst, ihre direkte Verträglichkeit zu benachbarten und die Verträglichkeit zu allen anderen, bisher kombinierten Teillösungen berücksichtigt werden. Gleichzeitig gewinnt man einen zunehmend gesamthafteren Eindruck der jeweiligen Gesamtlösungen

5.4.4. Stellvertreterlösungen

Definition: Stellvertreterlösungen sind exemplarische Konzeptvarianten, die stellvertretend für eine ganze Lösungsklasse stehen und eine schnelle Abschätzung ihrer Eigenschaften ermöglichen [Schneider 2001 (1)].

Viele Morphologische Kästen lassen bereits vor der Kombination deutliche Schwerpunkte hinsichtlich aussichtsreicher Lösungsklassen erkennen. Durch eine gezielte „Ansprache" dieser Lösungsklassen und Konzentration auf ihre typischen Elemente können Stellvertreterlösungen [Schneider 2001 (1)] ermittelt werden.

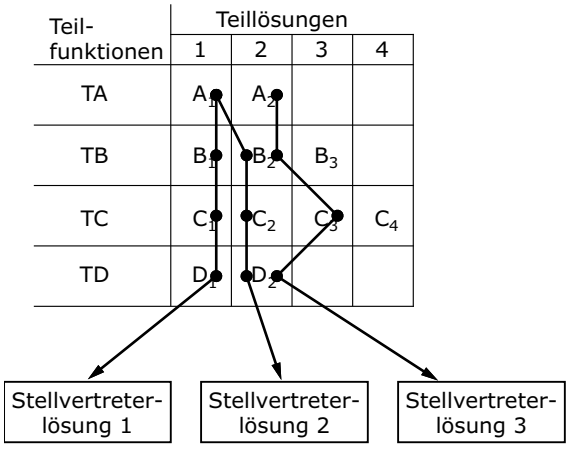


Bild (B848konD) Morphologischer Kasten und Stellvertreterlösungen

Stellvertreterlösungen lassen schnell erste Vorstellungen über Gesamtlösungen erkennen und sind damit ein gutes Mittel, um die bisherigen konzeptionellen Überlegungen zu reflektieren. Dabei ist jedoch darauf

zu achten, dass weitere aussichtreiche Konzeptvarianten nicht übersehen werden.

5.5. Aussichtsreiche konzeptionelle Gesamtlösungen

Die Kombination von Konzeptvarianten und die Reduktion des Variantenspektrums liefern Konzeptvarianten, die bereits das Sieb der Unverträglichkeitsprüfung passiert haben. Meist bleiben jedoch noch zu viele Varianten übrig, die nicht alle weiter konkretisiert werden können. Hier ist eine dem Kombinieren nachgeschaltete Beurteilung notwendig. Die verbleibenden Kombinationen werden konzeptionelle Gesamtlösungen genannt.

Definition: Konzeptionelle Gesamtlösungen sind Varianten, die aus untereinander verträglichen Teillösungen bestehen und die als Ganzes die Anforderungen erfüllen.

Definition: Die systematische Auswahl ist eine Methode zum Eingrenzen der Variantenvielfalt, in der die Eigenschaften von Varianten mit den entsprechenden Fest- oder Bereichsforderungen verglichen und Varianten bei einem Verstoss gegen diese Anforderungen ausgeschieden werden.

In vielen Fällen ist es ausreichend, die verbliebenen Konzeptvarianten durch einen Vergleich mit Fest- oder Bereichsforderungen zu selektieren und die aussichtsreichen auszuwählen. Ergebnis dieser systematischen Auswahl sind konzeptionelle Gesamtlösungen, deren Teillösungen untereinander verträglich sind und die Fest- und Bereichsforderungen erfüllen.

Bleiben immer noch zu viele Gesamtlösungen übrig, müssen diese zusätzlich hinsichtlich ihrer Qualität bewertet werden. Dabei ist unbedingt auf eine bewertungsrelevante Konkretisierung ihrer Eigenschaften zu achten.

Üblicherweise werden nach dem Kombinieren, Reduzieren und Auswählen, 3–6 Gesamtlösungen für die weitere Bearbeitung ausgewählt.

6. Gesamtlösungen konkretisieren

Die aus dem Morphologischen Kasten erzeugten Gesamtlösungen sind meist wenig konkrete Wirkprinzip-Kombinationen. Aufgrund des noch recht geringen Informationsgehalts ist eine Beurteilung der Lösungen nur mit einer erheblichen Unsicherheit möglich. Andererseits müssen aber die Lösungen sehr genau beurteilt werden, da die Entscheidung für oder gegen eine Gesamtlösung den weiteren Lösungsweg festlegt und entscheidend den Produkterfolg bestimmt.

Um fundiert beurteilen zu können, werden vertiefte Informationen über die Machbarkeit, Risiken und Chancen einer Gesamtlösung benötigt, sonst sind Vermutungen und Vorlieben Tür und Tor geöffnet. Alle Möglichkeiten müssen ausgeschöpft werden, um in diesem Stadium kurzfristig entscheidungsrelevante Informationen zu erhalten.

Dieses Früherkennen von Lösungseigenschaften kann mit unterschiedlichen Methoden unterstützt werden.

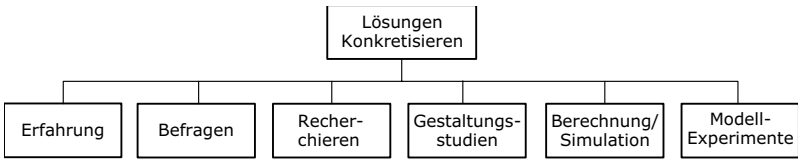


Bild (B849konD) Methoden zur Konkretisierung von Lösungen

Dieser Vorgriff auf erst später erkennbare Lösungseigenschaften wird als Konkretisierung bezeichnet und ist ein erfolgsbestimmendes Merkmal methodischen Arbeitens im Konzeptprozess.

6.1. Ziel der Konkretisierung

Werden im Konzeptprozess Gesamtlösungen entwickelt stellen sie in der Regel Wirkprinzipkombinationen auf vergleichsweise abstraktem Lösungsniveau dar. Ihr Informationsgehalt ist erheblich geringer als z. B. der von Entwürfen oder technischen Zeichnungen.

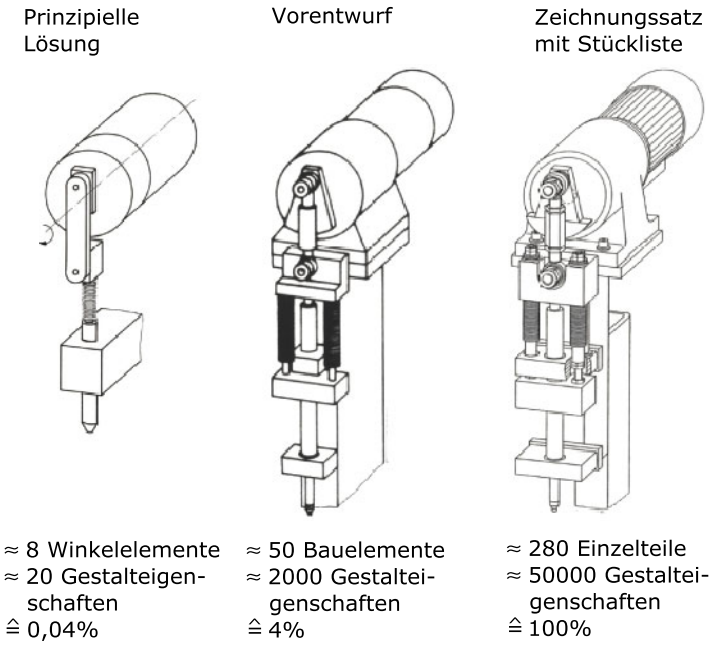


Bild (B122gekD) Unterschiedlich konkrete Produktmodelle und ihr Informationsgehalt am Beispiel eines Antriebssystems

Andererseits müssen bei der Entscheidung für oder gegen eine Gesamtlösung in dieser frühen Phase wesentliche Produkteigenschaften berücksichtigt werden. Dies ist aber für mehrere Lösungsvarianten insbesondere in der verfügbaren Zeit nicht möglich. Daher wird versucht, auf anderen Wegen gezielt Informationen über die Lösungen zu erhalten. Dabei kann man sich auf die entscheidungsrelevanten Eigenschaften beschränken.

Definition: Konkretisieren ist ein Vorgehen in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses, entscheidungsrelevante Lösungseigenschaften gezielt durch den Vorgriff auf spätere Entwicklungsprozesse zu ermitteln und die Gesamtlösungen insgesamt auf einen annähernd gleichen, für die Beurteilung ausreichenden Informationsstand zu bringen.

Ziel der Konkretisierung ist es, die Ermittlung weiterer Lösungseigenschaften der Gesamtlösungen soweit zu treiben, bis sie beurteilungsfähig sind. Bei mehreren Varianten sollte ein vergleichbares Konkretisierungsniveau angestrebt werden um eine „gerechte" Beurteilung durchführen zu können. Wird z. B. eine prinzipielle Lösung mit einem massstäblichen Entwurf verglichen besteht die Tendenz, den Entwurf wegen der vielen offensichtlichen Details zu kritisieren und die prinzipielle Lösung „schönzureden".

Zur Informationsbeschaffung wird versucht, möglichst alle verfügbaren Quellen auszuschöpfen. Beim Befragen und Recherchieren wird das Wissen von anderen genutzt. Mit Gestaltungsstudien, Berechnungen, Simulationen und Experimenten an Modellen konkretisiert der Entwickler selbst die Lösung und erarbeitet so neue und für die nachfolgende Beurteilung wichtige Produkteigenschaften.

6.2. Methoden zur Konkretisierung

Nachfolgend werden unterschiedliche Methoden zur Konkretisierung von Lösungen vorgestellt. In jedem Fall sind dabei der zu erreichende Nutzen, der erforderliche Aufwand und die spezifischen Randbedingungen der konkreten Entwicklungssituation (verfügbare Zeit, Ressourcen, Risiko) abzuschätzen und erst danach die Entscheidung für eine Methode zu treffen. In den meisten Fällen bedient man sich einer Kombination der einzelnen Methoden:

- Konkretisierung durch eigene Erfahrung,
- Konkretisierung durch Befragen,
- Konkretisierung durch Recherche,
- Konkretisierung durch Gestaltungsstudium,
- Konkretisierung durch Berechnen und Simulieren oder
- Konkretisierung durch Experimentieren mit Modellen.

6.2.1. Konkretisieren durch eigene Erfahrung

Definition: Erfahrung ist erworbenes Wissen, das abrufbar vorliegt, strukturiert genutzt und auf eine neue Aufgabe schlussfolgernd angepasst werden kann.

Wenn Entwickler Gesamtlösungen aus eigener Erfahrung beurteilen, nutzen sie Erkenntnisse aus vergangenen Entwicklungsaufgaben und ziehen daraus Schlüsse auf die späteren Eigenschaften der neuen Gesamtlösung.

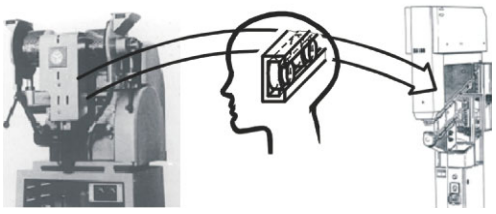


Bild (B123gekD) Erfahrung aus alten Aufgaben nutzen für neue Aufgaben

Hilfreich ist es dabei, die Aufgabenstellung zu hinterfragen:

- Gab es in der Vergangenheit gleiche oder vergleichbare Aufgaben?
- Wie wurde die Aufgabe damals gelöst?
- Habe ich darüber eigene Aufzeichnungen? Wenn ja, wo sind sie dokumentiert?
- Waren die damaligen Randbedingungen vergleichbar?
- Kann ich die Resultate übertragen?

Das gezielte Suchen nach entscheidungsrelevanten Lösungseigenschaften kann insbesondere bei schwierigen Aufgaben durch eine Schwachstellenanalyse unterstützt werden. Dazu ist es hilfreich, systematisch vorzugehen, die funktionalen Zusammenhänge zu analysieren, die Wirkprinzipien zu betrachten, ihre Wechselwirkungen untereinander und mit der Produktumgebung vorauszusehen und mögliche Realisierungen (Eigenfertigung, Zulieferkomponenten) zu überdenken.

6.2.2. Konkretisierung durch Befragen

Die mit Abstand wichtigste Informationsquelle in der Produktentwicklung sind Kollegen.

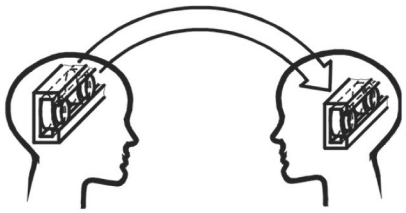


Bild (B124gekD) Erfahrungen von anderen nutzen

Etwa 70 % der handlungsrelevanten Information [Frankenberger 1997 (1)] wird über diesen Informationsweg gewonnen.

Für die Früherkennung von Produkteigenschaften sollten Konsultationen möglichst intensiv genutzt werden, da sie meist wenig Aufwand erfordern und eine besonders hohe Erfolgsquote aufweisen.

Befragungen können sich in einem weiten Spektrum abspielen:

- Diskussion mit Kollegen über Lösungsaspekte anhand von Skizzen, Zeichnungen oder Modellen
- Konstruktionskritik in Entwicklergruppen
- Konstruktionsberatung durch Mitarbeiter anderer Abteilungen z.B. der Arbeitsvorbereitung

- Design-Reviews vorzugsweise am Ende einer Entwicklungsphase (Aufgaben-, Konzept-, Entwurfsreview)
- Workshops mit interdisziplinären Teilnehmern, teilweise unter Einbindung von Kunden.

Als Informanten stehen zur Verfügung:

- Produktentwickler im eigenen Bereich (Kollegen, Vorgesetzte)
- Mitarbeiter aus anderen Bereichen (z.B. Arbeitsvorbereitung, Fertigung, Montage, Verkauf und Service)
- Betroffene und Fachleute ausserhalb des eigenen Unternehmens (z.B. Kunden, Zulieferer, Berater, Forscher).

6.2.3. Konkretisierung durch Recherche

Ausser den eigenen Dokumentationen existiert eine sehr grosse Menge an formalen Informationsspeichern innerhalb und ausserhalb des Unternehmens, meist in elektronischer Form.

Definition: Recherchieren ist ein Prozess zur Gewinnung von Informationen, die in Dokumenten abgelegt und auf die ohne oder mit Rechnereinsatz zugegriffen werden kann.

Bild (B126gekD) Informationen durch Recherchieren gewinnen

Beim Recherchieren werden

- Dokumente wie Produktdokumentationen, Fachliteratur, Erfahrungsberichte oder Schutzrechte
- hinsichtlich Technologien, Anwendungen und Einsatzbeispielen, Werkstoffen, Zulieferkomponenten, Kauf-, Wiederholteil- und Normteilen

gesucht und ihr Inhalt dargestellt, analysiert und hinsichtlich der Relevanz für die vorliegende Aufgabe bewertet.

6.2.4. Konkretisieren durch Gestaltungsstudien

Definition: Gestaltungs- und Anordnungsstudien sind Methoden zur geometrischen Konkretisierung von Lösungen (Skizzieren, Zeichnen).

Gerade in den frühen Phasen sind Produktentwickler in hohem Masse auf grafische Repräsentationen von Lösungen angewiesen. Gute Entwickler nutzen intensiv Skizzen und grobmassstäbliche Entwürfe als Gestaltungs- und Kommunikationsmittel. Das „Denken mit der Hand" ist ein hervorragendes Werkzeug für die Entwicklungsarbeit.

Bild (B127gekD) Informationen gewinnen durch Gestalten von Skizzen und Zeichnungen

Dabei wirken die Vorläufigkeit und Unbestimmtheit von Skizzen in hohem Masse kreativitätsfördernd.

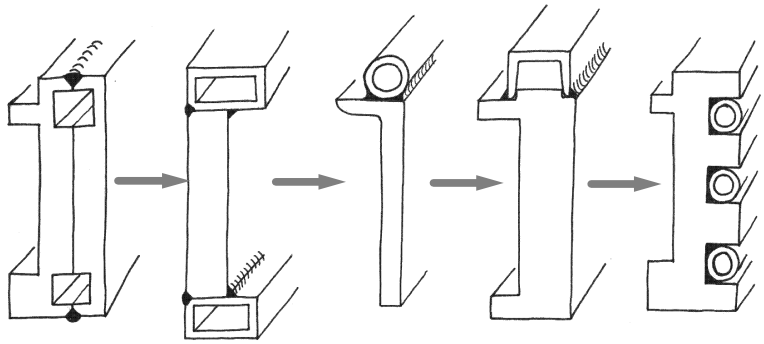


Bild (B128gekD) Gestaltungsstudien zum Konkretisieren einer wassergekühlten Traverse

Das Anfertigen von Skizzen zum Konkretisieren von Lösungen kann besonders helfen

- beim Ermitteln einer geeigneten Bauteilform im Hinblick auf Funktion, Fertigung-, Gebrauch und Design
- beim Untersuchen der räumlichen Verträglichkeit (z. B. Platzbedarf, Einbausituation, Kollisionen mit Nachbarteilen in der Montage oder im Gebrauch)

6.2.5. Konkretisieren durch Berechnen und Simulieren

Definition: Simulieren ist das Festlegen von Wertkontinua (Kennlinien, Kennfelder) von inneren oder äusseren Eigenschaften physikalischer oder sonstiger Modelle durch Anwenden mathematischer Methoden.Definition: Berechnen ist das Festlegen von Werten von inneren oder äusseren Eigenschaften physikalischer oder sonstiger Modelle durch Anwenden mathematischer Methoden.

Berechnen und Simulieren gehören zu den wichtigsten Konkretisierungsmethoden. Sie liefern im Rahmen der zugrunde liegenden physikalischen oder sonstigen Modelle exakte Werte sowohl für innere Lösungseigenschaften (z.B. Bauteilabmessungen) als auch für äussere Lösungseigenschaften (z.B. Leistung, Durchbiegung).

Bild (B129gekD) Informationen durch Berechnen gewinnen

Grundsätzlich benötigen Berechnungen und Simulationen Modelle, welche durch mathematische Beziehungen beschreibbar sind. Da jedes Modell eine Vernachlässigung gegenüber der Realität darstellt, sind vor dem Durchführen von Berechnungen und Simulationen die Eignung der Modelle zu prüfen und danach die Vernachlässigungen abzuschätzen und zu werten.

Zur Konkretisierung von Gesamtlösungen sind insbesondere so genannte orientierende Berechnungen hilfreich, z. B.

- Dimensionierungsrechnungen, z. B. zum Festlegen von Abmessungen, Bauraum, Gewicht oder Beanspruchung

- Funktionsberechnungen, z. B. zur Abschätzung bzw. Ermittlung von Taktzeiten, Leistungen, Wirkungsgraden, Geschwindigkeiten oder Durchsätzen
- Störgrössenabschätzungen, z. B. zur Ermittlung von Schwingungen, Erwärmungen, Reibungseinflüssen
- Wirtschaftlichkeits- und Rentabilitätsberechnungen, z. B. zur Abschätzung von Herstellkosten, Materialverbrauch, Amortisation, Deckungsbeitrag oder Gewinn

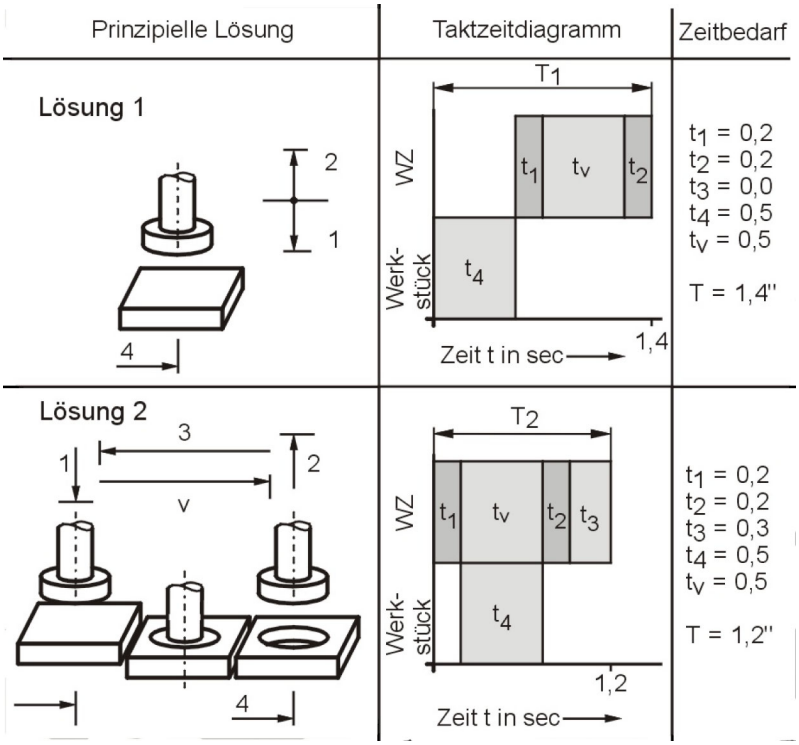


Bild (B130gekD) Taktzeitabschätzung für ein Transfersystem für Heissprägeteile (t_1, t_2 Zustellzeit, t_3 Zeit für Rückbewegung des Werkzeugs (WZ), t_4 Zeit für Vorschub der Werkstücke, t_v Verfahrenszeit für Heissprägen)

Simulationen werden bevorzugt für Kinematiksimulationen (Simulation von Bewegungsabläufen), für Beanspruchungssimulationen (FEM, BEM), für Animationen und zur Visualisierung (Virtual Reality-Simulationen) eingesetzt.

6.2.6. Konkretisieren durch Experimentieren mit Modellen

Definition: Experimentieren ist das Durchführen von Versuchen zur Verhaltensanalyse mit gegenständlichen Modellen.

Im Unterschied zur Simulation werden beim Experimentieren gegenständliche Modelle genutzt, um durch Versuche das Verhalten des späteren Produkts oder seiner Komponenten zu untersuchen und daraus Rückschlüsse auf die konkrete Gestaltung der Lösungen zu erhalten.

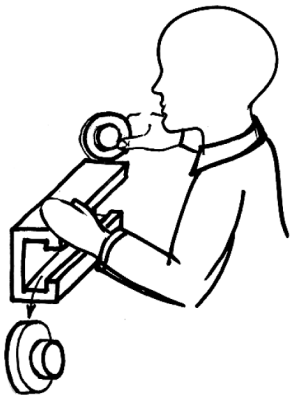


Bild (B132gekD) Informationen durch Experimentieren gewinnen

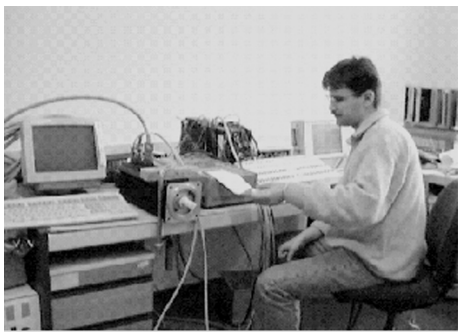


Bild (B131gekD) Experiment zur Bestimmung der Beschleunigung eines Roboterarmes

Obwohl das rechnerunterstützte Simulieren mit virtuellen Produktmodellen durch die Leistungsfähigkeit heutiger Hard- und Software sehr stark zugenommen hat, gibt es die Notwendigkeit, gegenständliche Modelle zu nutzen, um aus deren Verhalten, Handhabung und Design auf die erforderlichen Eigenschaften der Lösungen zu schliessen.

Typische reale Modelle, die insbesondere in den frühen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt werden können, sind:

- Versuchsmodelle: Produktnahe Modelle zur Klärung grundsätzlicher physikalischer Zusammenhänge, zum Beispiel kinematische Modelle zur Analyse von Bewegungsabläufen oder Versuchsmodelle für Handhabungs- oder Verpackungsprozesse.
- Funktions-Prototypen: Oft aus Modellbaukästen oder einfachen Materialien gefertigte Modelle zur Untersuchung funktioneller Eigenschaften
- Durch Versuche mit umgebauten „alten" Produkten oder durch Rapid-Prototyping erzeugte Modelle werden meist sehr realitätsnahe Erkenntnisse für die neuen Produkte gewonnen
- Anschauungs- und Design-Prototypen: Holz-, Schaumpappe- oder Kunststoffmodelle zur Vermittlung eines realistischen Eindrucks des Produkts und zur Klärung von Designfragen.

Es existieren viele unterschiedliche Ausdrücke in diesem Zusammenhang, welche oft synonym für dieselbe Sache gebraucht werden.

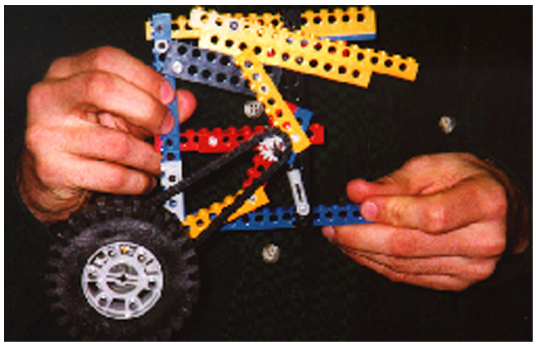


Bild (B134gekZ) Kinematische Untersuchungen an Lego-Baukasten (www.lego.com)

Bild (B135gekZ) Bau eines schaltbaren Rollstuhl-Prototypen auf Basis eines bestehenden Produktes

Bild (B909konz) Gehäuse-Prototyp aus Rapid-Prototyping-Verfahren um Funktion zu überprüfen

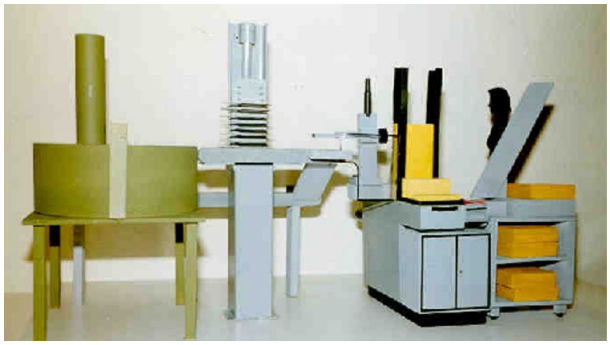


Bild (B136gekZ) Verpackungsanlage Anschauungsmodell

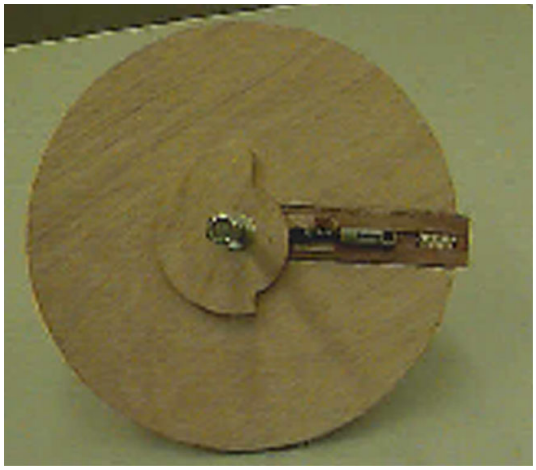


Bild (B133gekZ) Holzmodell für Einrastfunktion

7. Beurteilen von Varianten

Im Verlauf einer Produktentwicklung werden meist viele Varianten erzeugt. Wegen ihrer verschiedenartigen Eigenschaften erfüllen diese Varianten die Aufgabe mehr oder weniger gut oder überhaupt nicht. Da beim Generieren von Varianten teilweise keine Beurteilung erfolgt, muss dies nachträglich durchgeführt werden. Dabei sind ungeeignete Varianten auszusondern und aus den geeigneten Lösungen die besten zu ermitteln, um letztere später weiter zu konkretisieren. Dieses Beurteilen und Entscheiden muss fundiert erfolgen, da der Markterfolg davon abhängt.

Definition: Beurteilen ist ein Prozess zur Unterscheidung von Varianten hinsichtlich der Erfüllung bestimmter Kriterien (Anforderungen) mit dem Ziel, eine fundierte Entscheidungen über das weitere Vorgehen vorzubereiten.

Beurteilen wird gegliedert in Auswählen und Bewerten [Pahl, Beitz 1993 (1)].

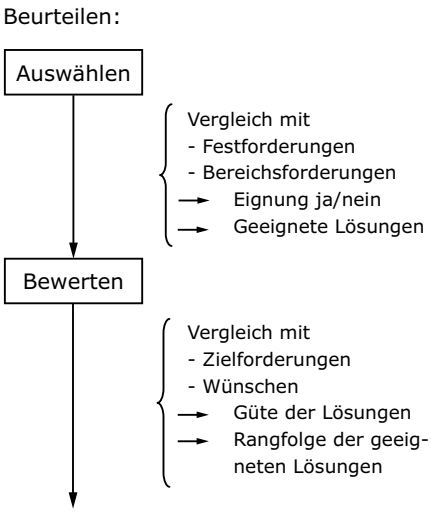


Bild (B910konz) Auswählen und Bewerten als disjunkte Methoden des Beurteilens

Auswählen und abschliessendes Bewerten sind „konvergente" Vorgehensweisen [Pahl, Beitz 1993 (1)], die ein zuvor erzeugtes Variantenfeld durch einen Beurteilungsprozess auf aussichtsreiche Varianten einengen. Da der gesamte Entwicklungsprozess durch ein permanentes Generieren und Eingrenzen von Varianten gekennzeichnet ist [VDI-2222 1996 (1)], können Auswahl- und Bewertungsprozesse im Prinzip überall stattfinden. Eine ausführliche Beurteilung empfiehlt sich

jedoch insbesondere am Ende des Konzeptprozesses als Grundlage für das Freigeben für den nachfolgenden Prozess.

Beim Auswählen werden die prinzipielle Eignung von Varianten untersucht und ungeeignete Varianten ausgeschlossen.

Beim Bewerten werden die verbleibenden geeigneten Lösungen hinsichtlich ihrer Qualität untersucht. Eine betont intuitive Methode ist der Paarvergleich, eine betont diskursive Methode, die Methode der Nutzwertanalyse nach [VDI-2225 1977 (1)].

Eine anschauliche Darstellung der Bewertungsergebnisse in Aufwand-Nutzen-Diagrammen und Werteprofilen fördert das Verständnis und erleichtert die Kommunikation.

7.1. Auswahl von Varianten

Definition: Auswählen ist ein Prozess zum Eingrenzen der Variantenvielfalt, in dem Varianten bei einem Verstoss gegen Fest- oder Bereichsforderungen aus dem weiteren Entwicklungsprozess ausgeschieden werden.

Der Auswahlprozess ist häufig schon im Prozess der Generierung von Gesamtlösungen eingeschlossen.

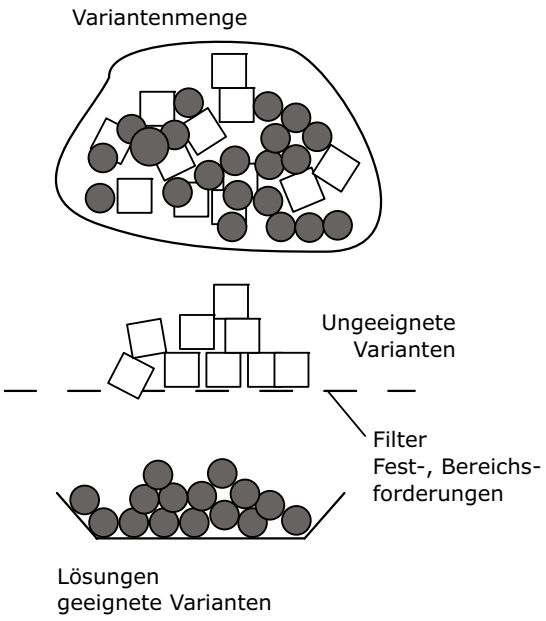


Bild (B850konD) Auswählen von Varianten

Die Auswahlkriterien (so genannte K.O.-Kriterien) werden in erster Linie aus Fest- und Bereichsforderungen abgeleitet. Beim Auswählen werden nur absolute (keine wertenden oder vergleichenden) Entscheidungen getroffen. Ergebnis des Auswählens ist eine Ja/Nein-Entscheidung (Variante ist geeignet/ungeeignet). Ist eine Entscheidung nicht möglich wird eine Informationsbeschaffung eingeleitet.

Durch Auswählen können aus einer grossen Anzahl von Varianten diejenigen relativ einfach, schnell und nachvollziehbar herausgefiltert werden, die aussichtsreich für die weitere Konkretisierung sind.

Auswählen kann nach jedem Arbeitsschritt im Entwicklungsprozess angewendet werden. Es ist jedoch besonders für den Konzeptprozess geeignet, wenn die erzeugte Variantenmenge noch unbrauchbare Varianten enthält, wie es z. B. nach einer Kreativitätstechnik oder nach dem Erstellen eines vollständigen Variantenbaums auftreten kann.

7.1.1. Auswahlliste

Die Methode „Auswahlliste“ wurde von [Pahl, Beitz 1993 (1)] entwikkelt. Grundlage dieser Methode ist ein Formblatt mit organisatorischen Angaben sowie einem Vorschlag von Auswahlkriterien und -werten.

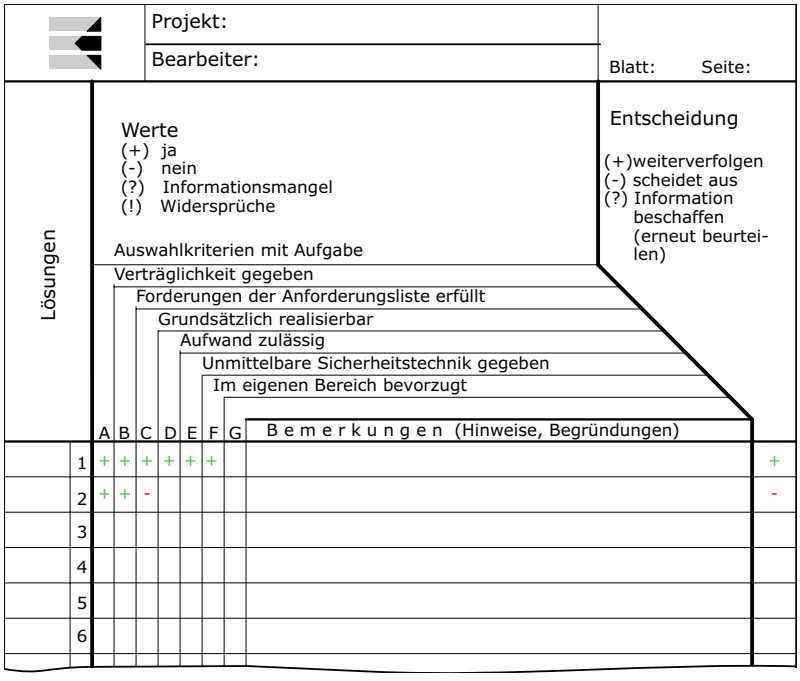


Bild (B851konD) Formblatt mit Auswahlkriterien (Ausschnitt) nach [Pahl, Beitz 1993 (1)]

Die Methode gliedert sich in drei Arbeitsschritte:

- Auswahlkriterien festlegen: Die Methode kann mit vordefinierten Auswahlkriterien durchgeführt werden, die aus Fest- und Bereichsforderungen der Anforderungsliste abgeleitet werden, ergänzt mit weiteren situationsorientierten Kriterien.
- Varianten beurteilen: Die Varianten werden hinsichtlich der Erfüllung der Auswahlkriterien beurteilt und das Ergebnis mit den Symbolen „+", „–", „?" gekennzeichnet. Varianten, die mit „–" beurteilt wurden, scheiden aus dem weiteren Auswahlprozess aus. Bei einer „?"-Beurteilung ist ein weiterer Klärungsprozess notwendig, bevor entschieden wird (⇒ Wiedervorlage). Die „+" erfüllen die Kriterien.
- Entscheiden: Ergebnis der Auswahl ist eine eingeschränkte Menge von geeigneten Varianten, die es sich lohnt weiterzuverfolgen. Zudem können Fragen zur Informationsbeschaffung angestossen und eine Diskussion von Anforderungen angeregt werden. Das Auswählen beinhaltet das Risiko, dass günstige Varianten aufgrund von Fehlbeurteilungen aus Informationsmangel nicht weiterverfolgt werden. Deshalb empfiehlt sich eine nachträglich Reflektion über das Auswahlergebnis.

Die Methode „Auswahlliste" ist für eine Variantenmenge mit ca. 20–50 Varianten geeignet, um diese vor dem Bewerten auf eine kleinere Lösungsmenge zu reduzieren.

7.2. Bewerten von Varianten

Prinzipielle Gesamtlösungen erfüllen das Anforderungsspektrum im allgemeinen unterschiedlich. Diese Unterschiede können durch Bewerten ermittelt werden.

Bewerten ist ein Prozess zum Ermitteln des Werts, des Nutzens oder der Stärke einer Lösung in Bezug auf vorher festgelegte Zielvorstellungen (Soll-Eigenschaften). Ergebnis des Bewertens ist eine Aussage über die Güte der Lösung, die den Grad der Zielerreichung repräsentiert.

Ziel aller Bewertungsmethoden ist es:

- die für eine Aufgabe geeigneten Lösungen hinsichtlich ihres Grades der Zielerreichung zu unterscheiden und die besten Lösungen zu ermitteln,
- die Bewertung zu objektivieren und
- die Entscheidung nachvollziehbar zu gestalten.

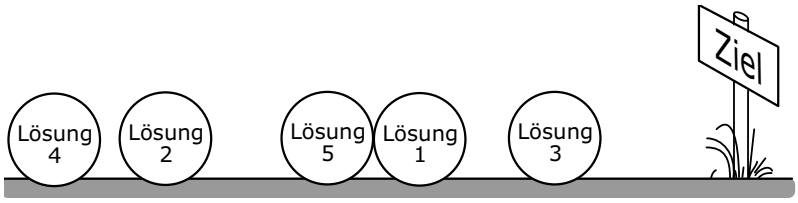


Bild (B852konD) Bewertungsergebnis als Grad der Zielerreichung der einzelnen Lösungen

Dazu wird für jede Lösung ein Gesamtwert ermittelt, der den Grad der Zielerreichung repräsentiert.

Bewertungsmethoden basieren auf den nachfolgenden Grundsätzen [Birkhofer 1980 (1)]:

- Durchführen einer umfassenden Bewertung: Es werden alle relevanten Eigenschaften der einzelnen Lösungen (nicht nur Einzelgesichtspunkte) im richtigen Verhältnis entsprechend den Zielvorstellungen berücksichtigt.
- Transformation unterschiedlicher Eigenschaften in normierte Teilwerte (Teilnutzen): Es wird eine Werteskala genutzt bzw. erstellt als Massstab für die Einordnung einzelner Eigenschaften und für deren Transformation in einen Teilwert, der als Rechengrösse (Zahl, abzählbares Symbol) dargestellt ist.
- Bilden eines Gesamtwerts (Gesamtnutzen): Die Teilwerte werden zu einem Gesamtwert als Mass für die Annäherung einer Lösung an eine, bezüglich der Zielvorstellungen als ideal gedachte Lösung zusammengefasst.

Bewerten kann für alle Entscheidungen durchgeführt werden, bei denen grundsätzlich geeignete Lösungen hinsichtlich mehrerer Eigenschaften beurteilt werden müssen.

7.2.1. Paarvergleich

Lösungen lassen sich gesamthaft bewerten, auch wenn ihre Eigenschaften nur lückenhaft vorliegen oder darüber nur wenige, tendenzielle Informationen vorliegen. Eine derartige, intuitiv geprägte Bewertung ist dann sinnvoll, wenn der Bewertende mit den Lösungen und deren Eigenschaften vertraut ist und ihre Realisierungs- und Marktchancen aufgrund seiner Erfahrung einschätzen kann (Expertise).

Intuitive Bewertungsmethoden (wie z. B. der Paarvergleich) können vielseitig eingesetzt werden, z. B. auch, um Gewichtungsfaktoren oder die Bedeutung von Lösungseigenschaften festzulegen.

Der Paarvergleich ist als Bewertungsmethode auch unter den Bezeichnungen „Konkurrenzbewertung“ oder „Dominanzmatrix“ bekannt.

Definition: Ein Paarvergleich ist eine betont intuitive Bewertungsmethode, in der alle Lösungen jeweils paarweise verglichen, mit einer Einzelwertung belegt und diese zu einer Gesamtwertung addiert werden.

Beim Paarvergleich werden die Lösungen in der Kopfzeile und Kopfspalte einer quadratischen Matrix (symmetrisch zur Diagonale reziproke Werte) aufgetragen.

		Lösung x ist						
		1	2	3	4	5	6	7
Lösung y	1	-	1	0	1	0	1	0
	2	0	-	0	1	0	0	0
	3	1	1	-	1	0	1	0
	4	0	0	0	-	0	0	0
	5	1	1	1	1	-	1	1
	6	0	1	0	1	0	-	0
	7	1	1	1	1	0	1	-
Summe		3	5	2	6	0	4	1
Rang		4	2	5	1	7	3	6

Bild (B040konZ) Paarvergleich von 7 Lösungen;
1 = besser; 0 = nicht besser; – = nicht bewertet

Mit dem Paarvergleich

- werden die Lösungen paarweise verglichen (vertikal gegen horizontal),
- wird entschieden welche Lösung besser bzw. schlechter ist und dieses Ergebnis in das Matrixfeld eingetragen,
- wird ein Gesamtwert durch Addition der Spaltensumme gebildet und
- daraus die Rangordnung / -folge der Lösungen (Ranking) abgeleitet.

Der Paarvergleich führt bei einer Lösungsmenge mit maximal zehn Lösungen in der Regel schnell zu einem begründeten Ergebnis über die Rangfolge. Dabei ist nur eine Aussage getroffen, ob eine Lösung

gesamthaft besser als eine andere ist. Der Unterschied wird dabei jedoch nicht quantifiziert. Trotzdem reicht das Ergebnis in vielen Fällen aus, um sich für das Konkretisieren der besten Lösungen im weiteren Entwicklungsprozess zu entscheiden.

Das Bewerten mit der Methode „Paarvergleich" ist dann besonders zu empfehlen, wenn sich Experten einen schnellen Überblick über die Qualität eines nicht zu grossen, aber schlecht einzuschätzenden Lösungsspektrums verschaffen wollen.

7.2.2. Nutzwertanalyse

Definition: Der Produktnutzen für einen Kunden ist die Gesamtheit aller wahrgenommenen Grund- und Zusatzteilnutzen.

In Anlehnung an [Dannheim 1991 (1)] können verschiedene Nutzenarten unterschieden werden:

- der Grundnutzen (auch Gebrauchsnutzen) wird durch den Zweck repräsentiert, für den das Produkt vom Kunden erworben wird (z.B. die Möglichkeit des Transports von Personen und Gütern mit einem PKW)
- der Zusatznutzen umfasst den Individual- und Geltungs-(Sozial-)nutzen
- als Individualnutzen sind alle individuell vom Kunden erfahrbaren Teilnutzen zu betrachten, die über den eigentlichen Grundnutzen hinausgehen (z.B. die aktive und passive Sicherheit eines PKWs, Spiele bei Handys, …)
- der Geltungsnutzen verschafft dem Kunden ein höheres Selbstwertgefühl und zu einer gesteigerten Wertschätzung durch sein Umfeld (z.B. sportliches Design, hochwertige Verarbeitung eines PKWs).

Mit dem Erwerb eines Produkts ist für den Kunden ein Aufwand in Form des Kaufpreises verbunden. Der Aufwand wird bei den meisten Produkten durch Betriebs- und Instandhaltungskosten beim Gebrauch noch erhöht.

Wenn Produkte umfassend bewertet werden sollen, müssen also alle Nutzen und Aufwände entsprechend ihrer Bedeutung für den Kunden erfasst und in die Bewertung einbezogen werden.

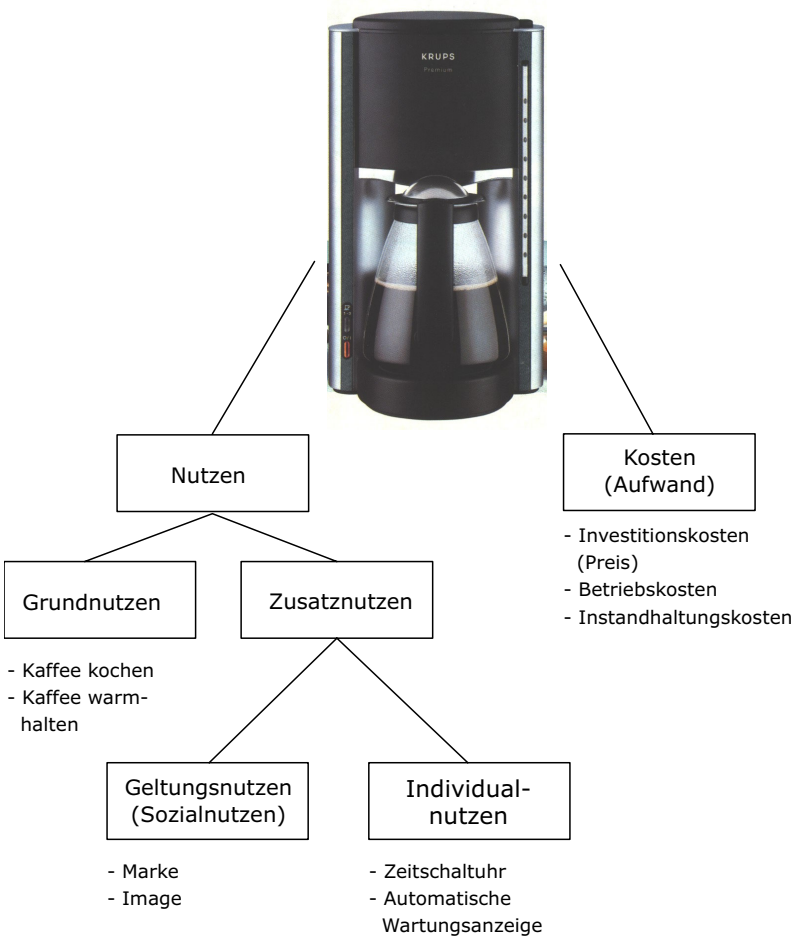


Bild (B853konD) Nutzen und Aufwände bei einer Kaffeemaschine
(Quelle: www.krups.de)

Diese Nutzen-Aufwandsbetrachtung gilt sinngemäss auch auf der Herstellerseite. Hier werden Aspekte der Synergie-, der Kompetenzerweiterung, des Gewinnes und der Kundenbindung als Teilnutzen aufgeführt.

Der Nutzwertanalyse liegt die Annahme zugrunde, dass ein Gesamtnutzen um so grösser ist, je mehr Teilnutzen damit erreicht werden können und je höher die einzelnen Teilnutzen sind. Deshalb werden bei der Punktbewertung die Teilnutzen für jedes Produkt systematisch ermittelt und zu einem Gesamtwert addiert.

Definition: Gesamtnutzen = Summe aller Teilnutzen

Die Punkt Bewertung nach VDI 2225 [VDI-2225 1977 (1)] besteht im Kern aus einer Folge von 7 Arbeitsschritten, die durch Werteskalen und Formblätter unterstützt werden.

Arbeitsschritte:

- *Zielvorstellungen aufstellen und Bewertungskriterien ableiten*. Die Zielvorstellungen werden aus Nutzenüberlegungen abgeleitet. Aus den Merkmalen der Zielvorstellungen lassen sich dann Bewertungskriterien ableiten.
- *Bewertungskriterien gewichten*. Bei deutlich unterschiedlicher Bedeutung der Bewertungskriterien werden diese durch Gewichtungsfaktoren berücksichtigt. Diese lassen sich durch Kundenbefragungen, Abschätzen im Team oder durch Paarvergleich ermitteln.
- *Eigenschaften der einzelnen Lösungen zusammenstellen*. Die zu bewertenden Eigenschaften der Lösungen müssen mit den Bewertungskriterien korrelieren und können durch alle Methoden, die bereits beim Konkretisieren eingesetzt wurden, ermittelt werden.
- *Allgemeine Werteskala auswählen*. Werteskalen normieren die konkreten Lösungseigenschaften auf „verrechenbare" Werte oder Symbole. Sie stellen Standards für die Vergabe von Punkten oder Symbolen dar, denen eine verbal beschrieben Wertung zugeordnet ist.
- *Spezielle Werteskala erarbeiten*. Spezielle Werteskalen ordnen den normierten Werten der allgemeinen Werteskalen konkrete, aufgabenspezifische Werte zu.
- *Lösungseigenschaften nach Wertvorstellungen beurteilen, Teilwerte bilden*. Die Eigenschaften jeder Lösung werden mit der speziellen Werteskala in normierte Teilwerte transformiert
- *Gesamtwert bilden*. Die normierten Teilwerte werden für jede Lösung zu einem Gesamtwert addiert, wobei ungewichtete und gewichtete Teilwerte eingesetzt werden können. Bevorzugt sollen daraus Wertigkeiten ermittelt werden, die dem Grad der Annäherung einer Lösung an eine Ideallösung entsprechen

1. Zielvorstellungen aufstellen und Bewertungskriterien ableiten

Die Zielvorstellungen beschreiben die Solleigenschaften einer fiktiven Ideallösung. Sie werden aus den Anforderungen ermittelt oder aus Lösungseigenschaften, die im Verlauf der Produktentwicklung erkennbar werden. Beim Aufstellen von Zielvorstellungen ist anzustreben:

- Eine weitgehende Vollständigkeit der Ziele (ganzheitliche Bewertung)

- Eine weitgehende Unabhängigkeit der einzelnen Ziele (nicht das gleiche Ziel in unterschiedlichen Formulierungen mehrfach beschreiben)
- Ziele auf derselben Zielhierarchie beschreiben (nicht übergeordnete Gesamtziele auf derselben Ebene wie ein Teilziel aufführen)

Aus den Zielvorstellungen, die Eigenschaftscharakter haben, lassen sich dann die Bewertungskriterien ableiten. Den Bewertungskriterien werden sinnvolle Wertebereiche zugeordnet. Sinnvoll sind Wertebereiche dann, wenn sie den Stand der Technik und die Marktakzeptanz berücksichtigen und hierzu Eckwerte von guten bis zu gerade noch tragbaren Werten festlegen. Die Wertebereiche können teilweise direkt aus den Anforderungen abgeleitet werden, z. B. bei Bereichsforderungen.

a) Ermitteln von Zielvorstellungen (Soll-Eigenschaften)	b) Ableiten von Bewertungskriterien (Merkmalen)	c) Festlegen von Wertbereichen sehr gut (++), gerade noch tragbar (– –)	
hohe Zuladung	Zuladung (Z)	> 400 L Gepäck < 300 L Gepäck	++ – –
geringer Energieverbrauch	Kraftstoffverbrauch (K)	6.5–7 L / 100 km 7.5–8 L / 100 km	++ – –
ansprechendes Design	Design (D)	sportlich konventionell, Nutzform	++ – –

Tabelle (T026konD) Zielvorstellungen, Bewertungskriterien und Wertebereiche am Beispiel eines PKW für junge Familien

2. Bewertungskriterien gewichten

Bewertungskriterien sind im allgemeinen unterschiedlich wichtig für den Nutzen einer Lösung [Birkhofer et al. 1992 (1)]. Die Wichtigkeit (Gewichtung) von Kriterien hängt von unterschiedlichen Faktoren ab:

- Konkrete Aufgabenstellung (Bedeutung des Kriteriums „Produktgewicht“ bei Diesellokomotiven oder bei Segelflugzeugen)
- Kunde (Markt) und dessen Bedarfen, Neigungen, Erfahrungen und Einstellungen (Bedeutung des Kriteriums „Zuladung“ bei PKW-Kombis oder bei Funmobilen)
- Zeitlich veränderliche Einflüssen wie Trends oder Moden (Bedeutung des Kriteriums „Benzinverbrauch“ 1960 oder 1979 (Ölkrise)).

Die Bewertungskriterien, können durch Gewichtungsfaktoren repräsentiert werden. Übliche Wertebereiche der Gewichtungsfaktoren sind 0 bis 1 bzw. 0% bis 100%. Je höher der Gewichtungsfaktor ist, um so wichtiger ist das betreffende Kriterium. Bei der Festlegung von Gewichtungsfaktoren ist allein die Relation der Gewichtungsfaktoren zueinander ausschlaggebend, nicht der Absolutbetrag. Erfahrungsgemäss führt eine Gewichtung nur in Extremfällen zu einer, gegenüber der ungewichteten Bewertung, veränderten Rangfolge der Lösungen. Sie spreizt jedoch die Gesamtwerte stärker und verstärkt damit die Unterschiede.

Gewichtungsfaktoren können mit Hilfe folgender Methoden festgelegt werden:

- Schätzen im Team
- Befragen von Kunden (Kunden-, Marktanalyse)
- Paarvergleich. Es empfiehlt sich dabei, eine 3-teilige Werteskala (2,1,0) zu verwenden, um den Grenzfall einer Spaltensumme = 0 für „gleichwichtige" Kriterien (Kriterium fällt aus der Bewertung raus) zu vermeiden.

Im Vegleich zu:	Z	K	D
Z	1	0	0
D	2	1	0
K	2	2	1
Summe absolut	5	3	1
Summe normiert	1.0	0.6	0.2

Bild (B037konD) Gewichten von Bewertungskriterien mittels Paarvergleich
am Beispiel eines PKW; 2 = wichtiger; 1 = gleich wichtig; 0 = weniger wichtig

Um das Risiko einer subjektiven Beeinflussung der Bewertung zu minimieren soll das Gewichten immer vor dem eigentlichen Bewerten durchgeführt werden! Bei gleicher oder annähernd gleicher Wichtigkeit der Kriterien ist das Gewichten nicht bewertungsrelevant und kann daher entfallen.

3. Eigenschaften der einzelnen Lösung zusammenstellen

Die zu bewertenden Lösungen werden möglichst neutral benannt und ihre Eigenschaften hinsichtlich der Bewertungskriterien beschrieben. Um die Lösungen beurteilungsfähig zu machen und eine objektive Beurteilung sicherzustellen, müssen alle Lösungen auf einen gleichen und ausreichenden Informationsstand vorliegen.

Bewerungs-kriterium	g_i	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Zuladung Liter Gepäck	1.0	320	420	455
L / 100 km	0.6	7.6	7.9	6.6
Design	0.2	sportlich, grosser Individualwert	sportlich betont, sehr repräsentativ	wenig sportlich, Kombi

Tabelle (T028konD) IST-Eigenschaften ermitteln am Beispiel eines PKW

4. Allgemeine Wertskalen auswählen

Allgemeine Wertskalen sind Standards für die Vergabe von Punkten oder Symbolen, denen eine verbal beschriebene Bedeutung zugeordnet ist. Sie dienen dazu, die konkreten Eigenschaften in miteinander „verrechenbare" Werte zu transformieren. Üblicherweise verwendete allgemeine Wertskalen werden im folgenden Bild dargestellt.

Allgemeine Wertskalen

Konkurrenz Bewertung		Stiftung Warentest		Richtlinie VDI 2225		Nutzwertanalyse	
Pkt.	Bedeutg.	Sym.	Bedeutg.	Pkt.	Bedeutg.	Pkt.	Bedeutg.
0	schlecht	– –	unbefriedigend	0	unbefriedigend	0	praktisch unbrauchbar
						1	sehr mangelhaft
		–	noch tragbar	1	gerade noch tragbar	2	schwach
						3	tragbar
		0	ausreichend, zufriedenstellend	2	ausreichend	4	ausreichend
1	gut					5	befriedigend
		+	gut	3	gut	6	gut mit geringen Mängeln
						7	gut
		++	sehr gut	4	sehr gut (ideal)	8	sehr gut
						9	über die Zielvorstellung hinaus gehend
						10	ideal

Tabelle (T029konZ) Übliche allgemeine Wertskalen

Je konkreter und auch differenzierter die Lösungen sind, um so detaillierter kann üblicherweise die Werteskala sein. Für die Bewertung von Konzepten hat es sich bewährt, die Werteskala nach VDI 2225 anzuwenden.

5. Spezielle Werteskalen erarbeiten

Spezielle Werteskalen ordnen den normierten Werten der ausgewählten allgemeinen Werteskala konkrete aufgabenspezifische Werte zu. Hierbei werden die sehr guten und die gerade noch tragbaren Werte der Bewertungskriterien den maximalen bzw. minimalen Punkten der allgemeinen Wertskala (z.B. 0 und 4 Punkte bei der Werteskala nach VDI 2225) zugeordnet.

Anschliessend werden die Zwischenwerte festgelegt und zugeordnet (skalieren der Eigenschaften). Üblich ist eine lineare Werteverteilung.

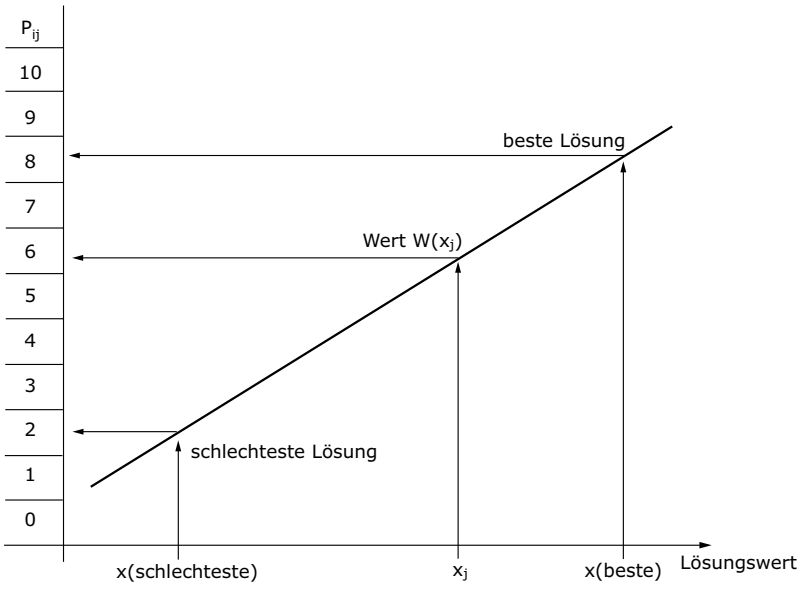


Bild (B023konZ) Spezielle Werteskala

Bewertgs.-Kriterium	Punkte (nach VDI 2225)				
	4	3	2	1	0
Zuladung (l Gepäck)	> 450	> 400	> 350	> 300	< 300
Kraftstoff-verbrauch L / 100 km	< 6.5	< 7.0	< 7.5	< 8.0	> 8.0
Design	sportliches Image und Fahrleistung	repräsentativ sportliche Fahrleistungen	konven-tionell	konven-tionelle Nutzform	konven-tionell, bieder

Tabelle (T030konZ) Spezielle Werteskala am Beispiel eines PKW

Das Erarbeiten einer speziellen Werteskala ist der entscheidende Arbeitsschritt in einer Punktbewertung und sollte sorgfältig durchgeführt werden [Birkhofer et al. 1992 (1)].

6. Lösungseigenschaften nach Wertvorstellungen beurteilen, Teilnutzen bilden

Die Eigenschaften der zu bewertenden Lösungen werden nun mit Hilfe der speziellen Wertskala in normierte und „addierbare" Teilwerte transformiert.

	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Zuladung (Liter Gepäck)	1	3	4
Kraftstoffverbrauch L / 100 km	1	1	3
Design	4	3	1

Tabelle (T031konD) Ermitteln der Teilwerte am Beispiel eines PKW

7. Gesamtnutzen bilden

Die einzelnen Teilnutzen können dann für jede Lösung zu einem Gesamtwert addiert werden. Dies kann sowohl ungewichtet als auch gewichtet erfolgen. Er repräsentiert entsprechend der Philosophie der Punktbewertung den aus der Addition der Teilnutzen ermittelten Gesamtnutzen.

Bewertungskriterien		Lösung 1 Norm Werte		Lösung 2 Norm Werte		Lösung 3 Norm Werte	
gew. g_i	verbale Beschreibung	ung. P_i1	gew. $g_i \cdot P_i1$	ung. P_i2	gew. $g_i \cdot P_i2$	ung. P_i3	gew. $g_i \cdot P_i3$
1.0	Zuladung (l Gepäck)	1	1.0	3	3.0	4	4.0
0.6	Kraftstoffverbrauch (l/100km)	1	0.6	1	0.6	3	1.8
0.2	Design	4	0.8	3	0.6	1	0.2
–	Gesamtwert GW_i	6	2.4	7	4.2	8	6.0

Tabelle (T032konD) Ordnungsschema zur ungewichteten und gewichteten Punktbewertung am Beispiel „Bewertung von PKWs"

Die Nutzwertberechnung erfolgt durch Normierung des Gesamtwertes.

Im ungewichteten Fall ist der Nutzwert das Verhältnis des erreichten Gesamtwertes zum maximal erreichbaren Gesamtwert (Beispiel PKW: $3 \cdot 4$ Punkte $= 12$ Punkte).

$$\text{Nutzwert } N_i = \frac{\text{Gesamtwert i}}{\text{max. Gesamtwert}} \tag{23}$$

Im gewichteten Fall berechnet sich der Nutzwert aus der maximalen gewichteten Punktzahl (Beispiel PKW: $1.0 \cdot 4 + 0.6 \cdot 4 + 0.2 \cdot 4 = 7.2$).

$$\text{Nutzwert gewichtet } N_{gi} = \frac{\text{Gesamtwert gewichtet i}}{\text{max. Gesamtwert gewichtet}} \tag{24}$$

Die Rangreihenfolge ordnet Lösungen entsprechend.

Bewertungskriterien		Lösung 1 (Norm Werte)		Lösung 2 (Norm Werte)		Lösung 3 (Norm Werte)	
gew. g_i	verbale Beschreibung	ung. P_i1	gew. $g_i \cdot P_i1$	ung. P_i2	gew. $g_i \cdot P_i2$	ung. P_i3	gew. $g_i \cdot P_i3$
1.0	Zuladung (l Gepäck)	1	1.0	3	3.0	4	4.0
0.6	Kraftstoffverbrauch (l/100km)	1	0.6	1	0.6	3	1.8
0.2	Design	4	0.8	3	0.6	1	0.2
	Gesamtwert GW_i	6	2.4	7	4.2	8	6.0
Nutzwert		N_1	N_{g1}	N_2	N_{g2}	N_3	N_{g3}
		0.50	0.33	0.58	0.58	0.67	0.83
Rangfolge		3	3	2	2	1	1

Bild (B038konD) Ordnungsschema zur ungewichteten (ung.) und gewichteten (gew.) Nutzwertberechnung am Beispiel „Bewertung von PKWs“

7.2.3. Darstellung als Werteprofil

Werden nur zwei Varianten verglichen, kann die Darstellung als Werteprofil sinnvoll sein. Teil- und Gesamtwerte werden darin, gewichtet oder ungewichtet, grafisch visualisiert.

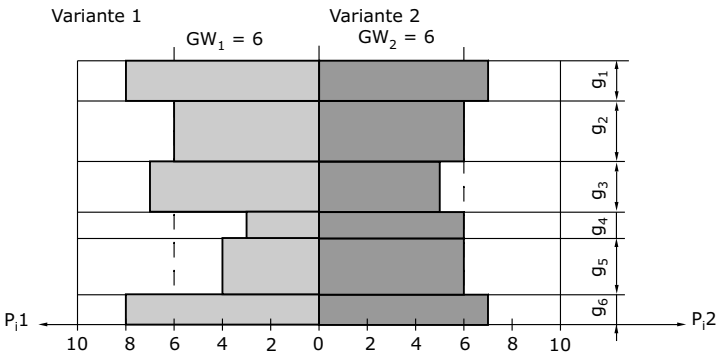


Bild (B854konD) Werteprofile für 2 Lösungen (Balkenlänge = Punktwert, Balkenbreite = Mass für Gewichtung, Flächeninhalt = Gesamtwert der Lösungsvariante).

7.2.4. Darstellung im Stärke-Diagramm

Die VDI-Richtlinie 2225 [VDI-2225 1977 (1)] schlägt die getrennte Ermittelung des Nutzwertes aus Kundensicht (technische Wertigkeit) und Unternehmenssicht (wirtschaftliche Wertigkeit) vor.

Zum Ermitteln der technischen Wertigkeit Wt werden Kriterien verwendet, die den Kundennutzen betreffen (Kundenwertigkeit).

Zum Ermitteln der wirtschaftlichen Wertigkeit Ww werden die Kriterien verwendet, die den Aufwand des Herstellers betreffen (Hersteller-Wertigkeit).

Das Ergebnis der beiden Nutzwertberechnungen wird im so genannten Stärke-Diagramm visualisiert.

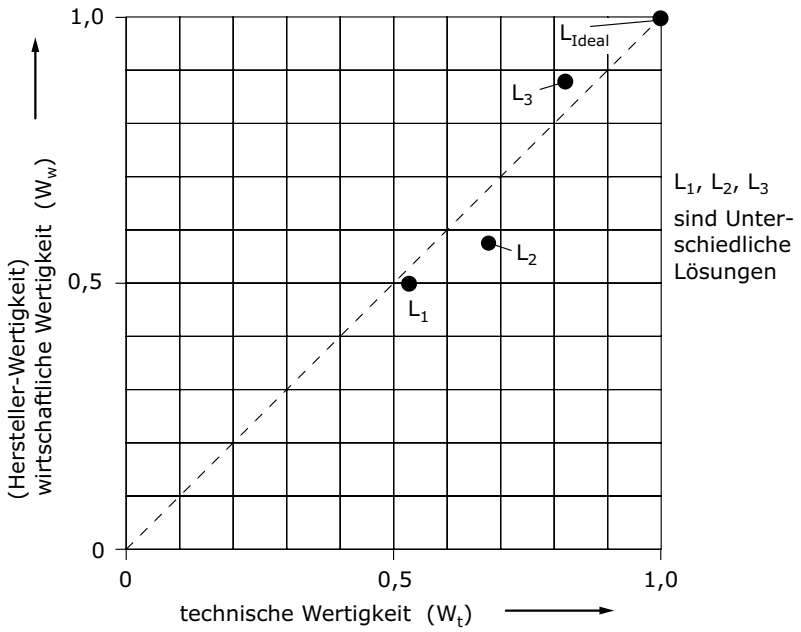


Bild (B855konD) Stärke-Diagramm zur Darstellung der technischen und wirtschaftlichen Wertigkeiten von Lösungen

Je näher eine Lösung zum Idealpunkt liegt, um so besser ist sie. Ausgewogene Lösungen mit annähernd gleicher wirtschaftlicher und technischer Wertigkeit finden sich auf der Hauptdiagonalen.

Bei der Darstellung eines Lösungsspektrums im Stärke-Diagramm zeigt es sich, dass die Lösungen meist in einem Band angeordnet sind.

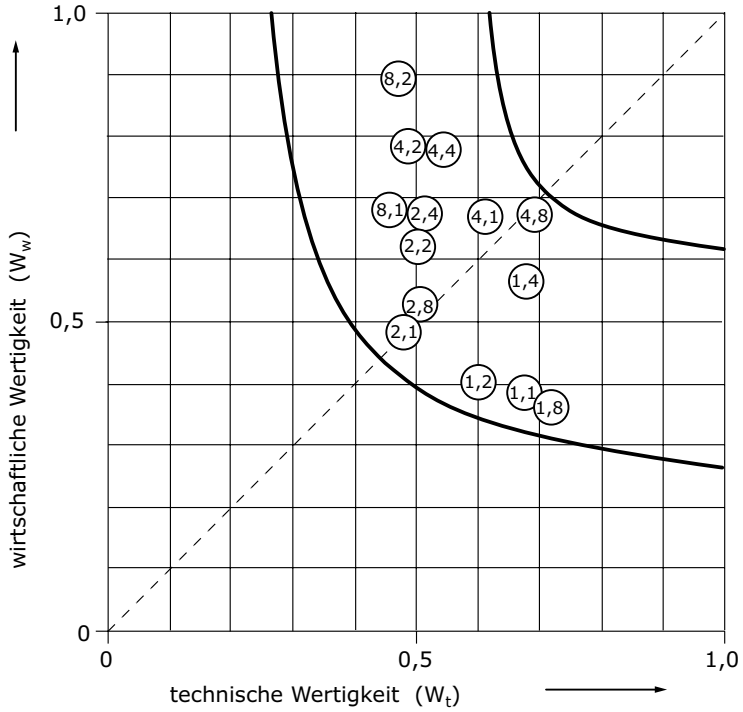


Bild (B856konD) Verteilung der Lösungen einer Dosenverschliessmaschine im Stärkediagramm

In einer derartigen Verteilung drückt sich die Dualität zwischen Nutzen und Aufwand aus. Ein grösserer Nutzen wird im Allgemeinen nur mit einem höheren Aufwand erreicht und umgekehrt.

Der Vorschlag der technisch-wirtschaftlichen Bewertung nach VDI 2225 setzt den Nutzen für den Kunden den Aufwendungen des Herstellers gegenüber. Bei einer umfassenden Betrachtung von Nutzen und Aufwand bei Kunden und Hersteller können jedoch mehrere Fälle unterschieden werden, die jeweils weitere wichtige Aussagen hinsichtlich der Chancen und Risiken von Lösungen ergeben.

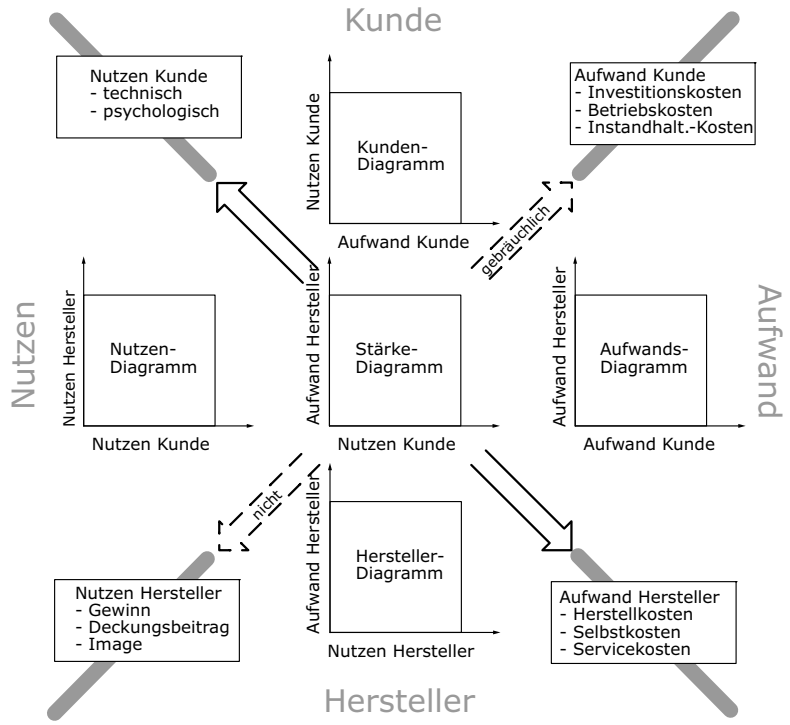


Bild (B857konD) Diagramme zur zweidimensionalen Darstellung des Aufwands und Nutzens für Kunden und Hersteller

7.3. Überprüfen und Entscheiden

Bei der endgültigen Entscheidung, welche der bewerteten Lösungen weiter verfolgt werden, sind neben den Erkenntnissen der Bewertungsergebnisse noch zusätzliche Überlegungen zu berücksichtigen:

- Bewertungsunsicherheiten abschätzen,
- Schwachstellen der Lösungen eliminieren,
- Entscheidung festlegen und begründen.

Bewertungsunsicherheiten abschätzen

Das Festlegen von Bewertungskriterien, Gewichtungsfaktoren, Wertebereichen und Werteskalen ist erfahrungsgemäss nicht immer eindeutig und unterliegt individuellen Einflüssen.

- Art und Interpretation der Darstellungsform: Die Wahl der Darstellungsform kann einen Einfluss auf das Abschneiden der Lösungen haben, da unterschiedliche Gesichtspunkte mehr oder weniger stark betont werden können.
- Abschätzen der Beurteilungsunsicherheiten, die aus personenbedingten und die verfahrensbedingten Fehler resultieren können.

Bild (B158abeZ) Bewertungsdiskussion im Team

Personenbedingte Fehler	Abhilfen
Subjektivität des Bewertenden	• Im Team neu bewerten • dominante Teilnehmer (z. B. Vorgesetzte) zurückhalten • bei Einzelbewertungen die Ergebnisse gemeinsam diskutieren und zu einem Gruppenergebnis zusammenfassen
Bewertungskriterien nicht für alle Lösungen geeignet	• Lösungen neutral bezeichnen • Kriterium umformulieren oder weglassen • Checklisten beim Ableiten vom Bewertungskriterien verwenden
Abhängigkeit der Kriterien untereinander	• Vorgehen schematisieren • Kriterium umformulieren oder weglassen • Kriterien zusammenfassen (Klassen bilden) Gewichtung überprüfen, • Checklisten beim Ableiten vom Bewertungskriterien verwenden
Unvollständigkeit der Kriterien	• Vorgehen schematisieren • Checklisten beim Ableiten vom Bewertungskriterien verwenden

Tabelle (T034konD) Personenbedingte Fehler beim Bewerten

Verfahrensbedingte Fehler	Abhilfe
Teil- und Gesamtwerte sind keine eindeutig festen Grössen (Bereiche)	• Streuung der Werte grob abschätzen, • verbale Schätzangaben verwenden, • Ausgewogene Kriterien anstreben, • „realistische Bewertungen“ anstreben, • keine Zahlenarithmetik, • Ergebnis mit erstem Eindruck vor Beginn der Bewertung vergleichen

Tabelle (T050konD) Personen- und verfahrensbedingte Fehler beim Bewerten

Schwachstellen der Lösungen eliminieren

Eine Bewertung gibt konkrete Hinweise auf Schwachstellen einzelner Lösungen. Damit kann eine gezielte Überarbeitung der Lösungen angestossen werden, um

- vor der weiteren Konkretisierung zu noch besseren Ergebnissen zu kommen,
- weniger gut bewertete Lösungen mit eventuell geringem Aufwand erheblich aufzuwerten.

Die Chance der Überarbeitung von Lösungen aufgrund von Schwachstellen im Bewertungsergebnis sollte unbedingt genutzt werden, da dies im Konzeptprozess noch mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich ist.

Entscheidung festlegen und begründen

Die endgültige Entscheidung über das weitere Vorgehen bezieht die einzelnen Bewertungsergebnisse in einer Gesamtschau ein. Die Entscheidung sollte schriftlich fixiert, prägnant begründet und von den Verantwortlichen abgezeichnet werden.

8. Zusammenfassung

Der Konzeptprozess bezeichnet eine der wichtigsten Phasen der Produkt-Entwicklung. Die wesentlichsten Weichen werden gestellt. Professionelle Projektplanung mit Gliederung in Arbeitspakete, funktionelle, zeitliche und kostenorientierte Ziele und Verantwortlichkeiten sind wichtige Voraussetzungen für die Zielerreichung und Kontrolle. Basierend auf dem Pflichtenheft wird die Anforderungsliste abgeleitet und kontinuierlich ergänzt. Von dieser ausgehend wird eine Funktionsliste bzw. -struktur erstellt. Für jede Funktion gibt es eine oder mehrere Teillösungen durch intuitive oder diskursive Lösungsfindungen. Auf verschiedenen Abstraktions- bzw. Konkretisierungsniveaus wird das Produktionsmodell beschrieben. Man unterscheidet das Funktionsmodell, das Effektmodell (meist physikalische Effekte) und das Wirkmodell.

Die Teillösungen der einzelnen Funktionen werden im Ordnungsschema, morphologischer Kasten genannt, geordnet dargestellt. Durch die Kombination der Teillösungen werden Varianten generiert. In einem Auswahlverfahren werden geeignete Varianten bestimmt und anschliessend in einem Bewertungsverfahren mittels Paarvergleich oder Nutzwertanalyse rangiert.

Verständnisfrage 1

Wie unterscheiden sich das intuitive und das diskursive Vorgehen? Geben Sie jeweils zwei Beispiele aus dem privaten Umfeld für die beiden Vorgehensweisen an.

Verständnisfrage 2

Sie haben den vereinfachten Konzeptprozess der Konstruktionsmethodik kennen gelernt. Vergleichen Sie den theoretisch, idealen mit einem realen Konzeptprozess, indem Sie drei wesentliche Unterschiede anführen.

Verständnisfrage 3

Sie haben den Begriff des Produktmodells kennen gelernt. Stufen Sie den Abstraktionsgrad der folgenden Produktmodelle ein (hoch, mittel, gering):

- Effektmodell
- Funktionsmodell
- Wirkprinzipmodell.

Verständnisfrage 4

Aus welchem Grund eignet sich bei der Problemlösung die Verwendung dieser Produktmodelle?

Verständnisfrage 5

Was versteht man unter dem Begriff „frühe Phasen"?
Aus welchen Gründen sollten die frühen Phasen intensiv bearbeitet werden?

Verständnisfrage 6

Erläutern Sie den Unterschied zwischen Funktion und Verhalten. Erläutern Sie diesen Unterschied anhand einer Fahrrad-Bremsanlage (Hand-Bremshebel, Bowdenzug, Bremse), indem Sie einmal die Funktion und einmal das Verhalten beschreiben.

Verständnisfrage 7

Warum ist das Arbeiten mit Funktionen oft hilfreich? Nennen Sie mindestens drei Vorteile.

Verständnisfrage 8

Nennen Sie Vor- und Nachteile einer normierten Funktionsbeschreibung.

Verständnisfrage 9

Beschreiben Sie folgende technische Produkte mit den allgemeinen Funktionen:

- Zweistufige Zahnradgetriebe
- Autobatterie
- Pneumatikzylinder
- PKW-Antriebswelle
- Solarzelle.

Verständnisfrage 10

In welchen Fällen ist eine Funktionsanalyse hilfreich? Was ist der Unterschied zu einer Funktionssynthese?

Verständnisfrage 11

Stellen Sie sich vor, Sie haben einen Bleistift, einen Textmarker und einen Kugelschreiber. Mit welchen Eigenschaften würden Sie die drei Stifte beschreiben, um sie hinreichend voneinander zu differenzieren?

Merkmale	Werte		
	Kugelschreiber	Textmarker	Bleistift

Tabelle (T035konZ) Verständnisfrage 11

Verständnisfrage 12

Wie stufen Sie den Grad der Ähnlichkeit der drei Stifte ein: Gleich, ähnliche oder unterschiedlich? Warum?

Verständnisfrage 13

Erklären Sie den Unterschied zwischen einem physikalischen Effekt und einem Wirkprinzip.

Verständnisfrage 14

Welche Wirkelemente kennen Sie? Bezeichnen Sie diese Elemente an einem Türgriff.

Verständnisfrage 15

Welche Arten von Darstellungsformen von Variantenspektren kennen Sie?

Verständnisfrage 16

Stellen Sie sich vor, Sie sind Entwickler in einem mittelständischen Werkzeugmaschinenbau-Unternehmen und sind an der Entwicklung einer neuen Spezialfräsmaschine für Kegelradverzahnungen beteiligt.

Überlegen Sie, welche Komponenten der Werkzeugmaschine Sie unter welchen Umständen bevorzugt als Zulieferteile beziehen und

welche Sie bevorzugt selbst fertigen lassen würden? Begründen Sie Ihre Überlegungen.

Verständnisfrage 17

Welche Arten von realen Lösungen kennen Sie und unter welchen Umständen würden Sie schwerpunktmässig diese recherchieren?

Verständnisfrage 18

Welche Arten von virtuellen Lösungen kennen Sie und unter welchen Umständen würden Sie schwerpunktmässig diese recherchieren?

Verständnisfrage 19

Wie unterscheiden sich Lösungssammlungen von Konstruktionskatalogen?

Verständnisfrage 20

In welchen Fällen würden Sie eher einen Konstruktionskatalog, wann eher Zulieferkataloge nutzen, um vorhandene Lösungen zu recherchieren?

Verständnisfrage 21

Welches sind die Voraussetzungen für das Erarbeiten prinzipieller Gesamtlösungen?

Verständnisfrage 22

Wie viele Konzeptvarianten ergeben sich bei einer vollständigen systematischen Kombination in folgendem Fall:

- Teilfunktion 1 → 3 mögliche Teillösungen
- Teilfunktion 2 → 2 mögliche Teillösungen
- Teilfunktion 3 → 4 mögliche Teillösungen
- Teilfunktion 4 → 1 mögliche Teillösung

Verständnisfrage 23

Welche Probleme treten beim Erarbeiten von Konzeptvarianten auf, wenn sie kombinatorisch generiert werden?

Verständnisfrage 24

Was müssen Sie hinsichtlich der Vollständigkeit Ihres zu erarbeitenden Lösungsfeldes bedenken, wenn Sie Reduktionsstrategien zur Reduzierung eines Morphologischen Kastens anwenden?

Verständnisfrage 25

Wofür kann man die Methode „Verträglichkeitsmatrix" verwenden und worauf basiert die Leistungsfähigkeit dieser Methode?

Verständnisfrage 26

Schätzen Sie ab, unter welchen Rahmenbedingungen der Einsatz der unterschiedlichen Methoden zur Konkretisierung geeignet ist.

Methode	Kriterien	
	Ressourcen – Personal, Mittel (klein, mittel, gross)	
Recherchieren		
Befragen von Kollegen		
Anordnungs- oder Gestaltungsstudien		
Experimentieren		
Eigene Erfahrungen		
Berechnen und Simulieren		

Tabelle(T036konZ) Verständnisfrage 26

Verständnisfrage 27

Sie wollen einen Laptop erwerben und recherchieren hierfür eine Vielzahl von Angeboten sowohl auf dem Gebrauchtmarkt als auch auf dem Markt für Neugeräte.

Stellen Sie mindestens 4 Auswahlkriterien auf, um die Anzahl der Angebote in einem ersten Schritt zu reduzieren.
Nachdem nun noch eine geringe Anzahl von Angeboten vorliegt, wollen Sie eine Bewertung durchführen, um das für Sie am besten geeignete Gerät bestimmen zu können.

Stellen Sie mindestens 5 Bewertungskriterien auf und legen Sie die zugehörigen Wertebereiche fest.

	Wertebereich	
Bewertungskriterium	Sehr gut	Gerade noch tragbar

Tabelle (T037konZ) Verständnisfrage 27

Da der neue Computer eine grössere Investition für Sie bedeutet, streben Sie ein möglichst objektives Urteil der verschiedenen Geräte an. Sie wollen die Kriterien gewichten. Führen Sie dies durch.

Sie haben verschiedene Allgemeine Wertskalen für eine Punktbewertung kennen gelernt. Welche Allgemeine Wertskala wählen Sie für die Bewertung der Computer aus und warum? Führen Sie dies durch.

Ihnen liegen noch zwei interessante Angebote vor:

- Angebot 1: Monitor 16“; 2.8 kg; CHF 2900.–; 30 HD; W-LAN integriert; M integriert.
- Angebot 2: Monitor 15“; 2.2 kg; CHF 2300. –; 30 HD; W-LAN extern; M integriert.

Welchen wählen Sie?

Antwort 1

Intuitives Vorgehen löst eine Problemstellung als Gesamtes durch multiples und unbewusstes Denken. Beispiel: Geschenk für Geburtstag ausdenken.

Diskursives Vorgehen strukturiert das Gesamtproblem in Einzelschritte, vielfach methodisch unterstützt. Beispiel: Planung eines Umzuges.

Antwort 2

Im idealen Prozess sind die Teilprozesse sequenziell geordnet. Im realen Fall existieren Rücksprünge, Iterationen.

Im idealen Fall werden alle Teilprozesse durchlaufen. Im Realen werden einzelne Teilprozesse übersprungen.

Im idealen Prozess helfen Methoden immer weiter. Im realen Verlauf ist dies nicht garantiert.

Antwort 3

- Hoch: Funktionsmodell
- Mittel: Effektmodell
- Gering: Wirkprinzip

Antwort 4

Das Formulieren eines Problems auf höherer Abstraktionsstufe hilft Denkbarrieren zu überwinden.

Antwort 5

Markt-Leistungsprozess als auch Konzeptprozess wird als frühe Phase bezeichnet. In diesen Teilprozessen werden wesentliche Weichen gestellt.

Antwort 6

Funktionsgliederung

Bild (B021konz) Funktionsgliederung

Verhalten

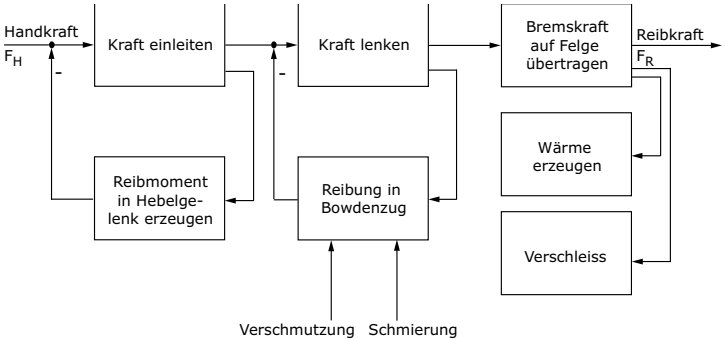


Bild (B022konz) Verhalten

Antwort 7

- Es abstrahiert das Produkt auf lösungsneutrale Ebene.
- Es hilft einen grösseren Lösungsraum zu erzeugen.
- Es gibt einen Überblick über Variationsmöglichkeiten.
- Es zeigt Minimalstrukturen auf.

Antwort 8

Vorteile:

- Die Beschreibung ist normiert und durch Lösungskataloge unterstützt.
- Sie führt zu weniger Missverständnissen.

Nachteile:

- Schwierig zu verstehen, da sehr abstrakt.

Antwort 9

- Zahnradgetriebe:Energie umformen
- Autobatterie:Energie speichern
- Pneumatikzylinder:Energie umwandeln
- PKW Antriebswelle:Energie leiten
- Solarzelle:Energie umwandeln

Antwort 10

Die Analyse eignet sich gut für die abstrakte Beschreibung von bestehenden Produkten. Das Produkt wird dabei in Teilfunktionen zerlegt und die bestehenden Verknüpfungen beschrieben. Die Synthese wird für Neuentwicklungen eingesetzt, um das noch unbekannte Produkt zu beschreiben.

Antwort 11

Eigenschaften von Schreibstiften

Merkmale	Werte		
	Kugelschreiber	Textmarker	Bleistift
Strichstärke	mittel	breit	dünn
Radierbarkeit	nein	nein	ja
Strichfarbe	blau	gelb	grau
Wiederauffüllbarkeit	ja	ja	nein

Tabelle (T038konZ) Eigenschaften von Schreibstiften

Antwort 12

Aus Sicht der obigen Eigenschaften sind die Objekte ähnlich, denn sie sind mit gleichen Merkmalen charakterisierbar. Gleich wären sie, wenn auch die Ausprägungen identisch sind; unterschiedlich wären sie, wenn die Merkmale nicht vergleichbar wären.

Antwort 13

Das Wirkprinzip ist konkreter, baut auf physikalischen Effekten auf, wird jedoch durch geometrische, werkstoffspezifische, kinematische etc. Eigenschaften ergänzt.

Antwort 14

Wirkelemente sind: Wirkkörper, Wirkflächen, Wirkraum und Wirkbewegung.

Bei einem Türgriff wäre der Wirkkörper der Griff selber u.U. auch der Stift, welcher Griff mit Vierkant verbindet. Die Wirkfläche ist der Bereich der mit der Hand in Berührung kommt und auf den die Öffnungskraft wirkt. Auch eine Wirkfläche ist das Vierkantloch, welches das Moment auf den Vierkant überträgt. Die Wirkbewegung ist die Schwenkbewegung und der Wirkraum der umhüllende Raum im ruhenden und geschwenkten Zustand.

Antwort 15

Variantenbaum und Ordnungsschema

Antwort 16

Konzeptionell kann diese Maschine vereinfacht aus den folgenden Modulen aufgebaut werden:

- Zahnradaufnahme,
- Werkstück-Positioniermodul,
- Spindel,
- Werkzeugaufnahme,
- Gestell,
- Steuerung und
- Bedienung.

Aus Zuliefererkatalogen könnten die folgenden Komponenten gesucht werden:

- Zahnradaufnahme: Spannmittel (http://www.gressel.ch/)
- Werkstückpositioniermodul: lineare und rotative Positioniertische (www.ina.com; http://www.schneeberger.ch/)

- Spindel: Standardspindeln (http://www.steptec.com/)
- Werkzeugaufnahme: Standardisierte Spannfutter
- Steuerung: Steuerungskomponenten für die Antriebe direkt von den Motorenlieferanten (http://www.infranor.ch/) Ablaufsteuerung durch SPS-Steuerung (www.siemens.com)
- Bedienung: Unter Umständen von den Lieferanten der SPS

Trotz dieser grossen Anzahl käuflicher Komponenten und Module verbleibt ein grosser Anteil an Ingenieurarbeit die Baugruppen zu einem System mechanisch als auch elektrisch zu verknüpfen.

Antwort 17

Reale Lösungen sind auf dem Zuliefermarkt zu finden und werden fast grundsätzlich vorrangig analysiert und bewertet.

Antwort 18

Virtuelle Lösungen findet man in Lösungssammlungen, Konstruktionskatalogen, Patenten, Fachbüchern etc.

Antwort 19

Lösungssammlungen sind lose Zusammenstellungen von Lösungen ohne tiefe Systematik; Konstruktionskataloge sind merkmalorientiert strukturiert.

Antwort 20

Für die Suche nach prinzipiellen Lösungen, Effekten und Wirkprinzipien in einer frühen Phase eignen sich Konstruktionskataloge. Auch bevorzugt bei Entwicklungsvorhaben mit hoher Bedeutung. Zulieferkataloge kommen in einer späteren Phase zum tragen.

Antwort 21

Wesentliche Voraussetzungen sind eine Anforderungsliste und eine Funktionsstruktur.

Antwort 22

$N = 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 1 = 24$

Antwort 23

Variantenflut mit vielen unbrauchbaren Lösungen (Variantenschrott) oder sehr ähnlichen Lösungen.

Antwort 24

Jede Reduktionsstrategie eliminiert oder verdeckt Varianten des gesamten Lösungsspektrums. Strategien müssen sehr sorgfältig und bewusst erfolgen. Teilweise werden zusammengefasste Lösungen später wieder aufgefächert.

Antwort 25

Die Verträglichkeitsmatrix ist eine effiziente und vor allem überblickbare Methode, um Teillösungen paarweise in Bezug auf die gegenseitige Verträglichkeit zu überprüfen.

Antwort 26

Welche Methode sich am besten eignet, ist stark situationsabhängig und entsprechend sind die die Antworten situationsspezifisch.

Methode	Kriterien	
	Verfügbare Zeit (klein, mittel, gross)	Ressourcen – Personal, Mittel (klein, mittel, gross)
Recherchieren	mittel	klein, mittel
Befragen von Kollegen	klein	klein
Anordnungs- oder Gestaltungsstudien	mittel	mittel
Experimentieren	hoch	hoch
Eigene Erfahrungen	klein	klein
Berechnen und Simulieren	klein, mittel	mittel

Tabelle (T039konZ) Methode – Kriterien

Antwort 27

Auswahlkriterien:

- Preis unter CHF 3000.–
- Monitorgrösse mind. 14“
- DVD integriert
- RAM-Grösse mind. 512 MB

Bewertungskriterium	Wertebereich	
	sehr gut	gerade noch tragbar
Monitorgrösse	16“	14“
Gewicht	2 kg	3 kg
Preis (in CHF)	2000.–	3000.–
Harddisk	40 GB	25 GB
Wireless	integriert	extern
Modem	integriert 128	extern

Tabelle (T040konZ) Bewertungskriterien – Wertebereich

Gewichten der Kriterien durch Paarvergleich:

	Monitorgrösse	Gewicht	Preis	Harddisk	Wireless	Modem
Monitorgrösse	1	0	2	0	0	0
Gewicht	2	1	2	0	0	0
Preis	0	0	1	0	0	0
Harddisk	2	2	2	1	1	1
Wireless	2	2	2	1	1	1
Modem	2	2	2	1	1	1
Gesamt	9	7	11	3	3	3
normiert	0.82	0.64	1.0	0.27	0.27	0.27

Tabelle (T041konZ) Gewichten der Kriterien durch Paarvergleich;
2 = wichtiger; 1 = gleich wichtig; 0 = weniger wichtig

Werteskala: Da durch Prospekte sehr exakte Werte vorliegen, könnte eine Skala von 1–10 eingesetzt werden.

Spezielle Werteskala:

	Punkte					
	3	4	5	6	7	8
Monitorgrösse	14	14.4	14.8	15.2	15.6	16
Gewicht	3	2.8	2.6	2.4	2.2	2
Preis	3000	2800	2600	2400	2200	2000
Harddisk	25	28	31	34	37	40
Wireless	extern	–	–	–	–	integriert
Modem	extern	–	–	–	–	integriert

Tabelle (T042konZ) Spezielle Werteskala

Bewertung:

		Angebot 1		Angebot 2	
Kriterium	Gewichtung	P	P_g	P	P_g
Monitor	0.82	8	6.56	6	4.92
Gewicht	0.64	4	2.56	7	4.48
Preis	1.0	3	3.0	6	6
Harddisk	0.27	5	1.35	5	1.35
Wireless	0.27	8	2.16	3	0.81
Modem	0.27	8	2.16	8	2.16
Summen		36	17.8	35	19.72
Rang		2		1	

Tabelle (T043konZ) Bewertung

In der Bewertung erkennt man aber auch eine grosse Sensitivität vor allem des Preiskriteriums. Eine nur leichte Variation der Bewertung lässt die kleine Distanz von 10% schrumpfen.

Relevante Cases

- Stanzautomat
- Kühlschrank
- Jeansknopf
- Uhren
- Verpackungsanlage
- Bohrdübel
- Nietanlage

Publikationsverzeichnis – Literatur

[1] Altshuller, G. S.: Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme, Berlin, VEB Verlag Technik, 1984

[2] Anderl, R.: Produktdatentechnologie. Umdruck zur Vorlesung. Darmstadt, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, 1996

[3] Ayan, Jordan: Aha! Ways to Free Your Crearive Spirit and find your great ideas, ISBN: 0-517-88400-3, Random House, 1997

[4] Beitz, W. und K.-H. Küttner: DUBBEL – Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer-Verlag, Berlin u.a., 18. Auflage, 1995.

[5] Bennis, Warren und Patricia Ward Biedermann: Geniale Teams. Das Geheimnis kreativer Zusammenarbeit, Campus Verlag, Frankfur a / Main, 1998

[6] Birkhofer, H.: Analyse und Synthese der Funktionen technischer Produkte, Fortschr. Ber. VDI-Z. Reihe 1, Nr. 70, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980

[7] Birkhofer, H.: Von der Produktidee zum Produkt – Eine kritische Betrachtung zur Auswahl und Bewertung in der Konstruktion, Festschrift Gerhard Pahl, Prof. Dr. F.G. Kollmann, Dipl.-Ing. U. Müller (Hrsg.), TH Darmstadt, 1990, S. 195 – 204

[8] Birkhofer, H.: Erfolgreiche Produktentwicklung mit Zulieferkomponenten, VDI-Berichte Nr. 953, 1992. S. 155 – 170

[9] Birkhofer, H.: Vom Produktvorschlag zum Produktflop – mit Planung und Methodik ins Desaster; in: Strohschneider, S. u. R. v. d. Weth (Hrsg.) Ja, mach nur einen Plan. Pannen und Fehlschläge – Ursachen, Beispiele, Lösungen. Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle, 1993

[10] Birkhofer, H., Göker, M. und K.H. Beelich: Einsatz wissensbasierter Systeme beim Beurteilen; in: Wissensbasierte Systeme in der Konstruktions- und Arbeitsplanung, Hrsg.: VDI-EKV, GI. : VDI-Verlag, Düsseldorf, 1992, S. 97 - 103

[11] Birkhofer, H., Reinemuth, J.: Zulieferer im Wettbewerb, VDI-Berichte Nr. 1098, 1993

[12] Birkhofer, H., Büttner, K., Reinemuth, J. und H. Schott: Netzwerkbasiertes Informationsmanagement für die Entwicklung und Konstruktion – Interaktion und Kooperation auf virtuellen Marktplätzen. Konstruktion 47 (1995) 9, S. 155-173.

[13] BMBF-Patentinitiative: Patente schützen Ideen. Ideen schaffen Arbeit, Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Bonn, 1996.

[14] Brodbeck, Karl Heinz: Mut zur eigenen Kreativität. Wie wir werden, was wir sein können, Herder, Freiburg, 2000

[15] Bronstein, I.N.; Semendjajew, K.A.: Taschenbuch der Mathematik, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig, 25. Aufl., 1991

[16] Busch, Burkhard G.: Erfolg durch neue Ideen, Cornelsen, Düsseldorf, 1999

[17] Büttner, K. und H. Birkhofer: Mit Online-Produktkatalogen den Nutzen für Zulieferer und Abnehmer steigern, Konstruktion 48 (1996), S. 174-182.

[18] Buzan, Tony and Raymond Keene: Buzan's Book of Genius and how to Unleash your own, Random House, 1994

[19] Buzan, Tony: Kopftraining. Anleitung zum kreativen Denken. Tests und Übungen, Goldmann, München, 1999

[20] Buzan, Tony with Barry Buzan: The Mind Map Book, ISBN: 0-525-93904, Dutton, 1994

[21] Buzan, Tony: Use Both Sides of Your Brain, Plume, New York, 1991

[22] Caroselli, Marlene: Breakthrough Creativity. Quality Resources, White Plains, New York, 1994

[23] Daenzer, W. F. (Hrsg.): Systems Engineering, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1994.

[24] Daenzer, W. F.: Systems Engineering – Methodik und Praxis. Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 10. Auflage, 1999

[25] Dannheim, F.: Die Entwicklung umweltgerechter Produkte im Spannungsfeld von Ökologie und Ökonomie – Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung der Nutzungsphase. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 320, Düsseldorf, 1999, S. 114ff

[26] DeBono, Edward: Serious Creativity, ISBN: 0-99730-566-0, Harper Business, 1992

[27] DeBono, Edward: Serious Creativity. Die Entwicklung neuer Ideen durch die Kraft lateralen Denkens, Schäfer Verlag, Stuttgart, 1996

[28] DeBono, Edward: Six Action Shoes, ISBN: 0-00-255021-0, Harper Collins, 1991
[29] Derhake, T.: Methodik für das rechnerunterstützte Erstellen und Anwenden flexibler Konstruktionskataloge, Dissertation TU Braunschweig, 1990
[30] Design Zentrum Hessen: BESSER SEIN – Wettbewerbsfähig mit Design. Darmstadt, 1995
[31] Diekhöner, G.: Systematische Lösungsfindung mit Konstruktionskatalogen, VDI-Z. 120 (1978) Nr. 8, S. 351-357.
[32] Dilts, Robert, Todd Epstein, Robert W. Dilts: Tools for Dreamers, Meta Publications, Cupertino CA ISBN: 0-916990-26-5
[33] Dörner, G.D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 1987
[34] Dreibholz, D.: Ordnungsschemata bei der Suche von Lösungen. Konstruktion 27 (1975) S. 233 – 240
[35] Ealy, C. Diane, Ph. D.: The Woman's Book of Creativity, ISBN: 1-885223-06-4, Words Puplishing inc. 1995
[36] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Hanser Verlag, München 1995.
[37] Eiletz, R.: Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte. Shaker Verlag, Aachen 1999.
[38] Ewald, O.: Lösungssammlungen für das methodische Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag 1982.
[39] Figel, K.: Optimieren beim Konstruieren. München, Wien: Hanser 1988.
[40] Fisher, Marsh: The IdeaFisher. Peterson's Parcesetter Books 1995
[41] Fobes, Richard: The Creative Problem Solver's Toolbox. Solutions Through Innovation. Corvallis OR 1995
[42] Franke, H.-J.: Untersuchungen zur Algorithmisierbarkeit des Konstruktionsprozesses. Fortschritts-Berichte VDI-Z, Reihe 1, Nr. 47. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976
[43] Frankenberger, E.: Arbeitsteilige Produktentwicklung. Fortschritts-BerichteVDI.-Z., Reihe 1, Nr. 291. Düsseldorf: VDI-Verlag 1997
[44] Fricke, G.: Konstruieren als flexibler Problemlöseprozess – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren. Fortschr.-Berichte. VDI Reihe 1 Nr. 227. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993
[45] Gardner, Howard: So genial wie Einstein. Schlüssel zum kreativen Denken. Klett-Cotta. Stgt. 1996

[46] Geisselhart, Roland R. und Christine Burkhard: Gedächtnispower. Bildhaftes Denken. Kreativität. Intelligenz. GABAL. Offenbach 1997

[47] Heidemann, B.: Trennende Verknüpfung – Ein Prozessmodell als Quelle für Produktideen (Arbeitstitel). Diss. TU Darmstadt. Erscheinung vorauss. 2001. VDI-Verlag

[48] Herb, R.; Herb, T.; Kohnhauser, V.: TRIZ - Der systematische Weg zur Innovation. Verlag Moderne Industrie, Landsberg 2000.

[49] Higgins, James M.: 101 Creative Problem Solving Techniques. The New Management Publishing Company. Winter Park FL

[50] Higgins, James M. und Gerold G. Wiese: Innovationsmanagement. Kreativitätstechniken für den unternehmerischen Erfolg. Springer-Verlag 1996

[51] Hoffherr, Glen D., John W. Moran, Gerald Nadler: Breaktrough Thinking in Total Quality Management. ISBN:0-13-090820-7. Prentice Hall 1994

[52] Hubka, V.: Theorie Technische Systeme. 2. Auflage. Berlin u.a.: Springer-Verlag 1984

[53] Kellner, Hedwig: Business Basica, Die besten Kreativitätstechniken in 7 Tagen. Mod. Verlagsges. Mün. 1999

[54] Keutgen, I.: Vom Zulieferer zur Zulieferkomponente – Gezielte Informationsbereitstellung in der Produktentwicklung durch den virtuellen Marktplatz CompoNet. Fortschr.-Ber. VDI-Reihe 20 Nr. 319. Düsseldorf: VDI-Verlag 2000

[55] Grundmann, Wolfgang u. a.: Wettbewerbsfaktor Kreativität. Th. Gabler, Wiesb. Erschienen 2000

[56] Kao, John: Jamming: The Art and Discipline of Business Creativity. ISBN: 0-88730-746-9. Harper Collins 1996

[57] Koller, R.: Konstruktionslehre für den Maschinenbau. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1994

[58] Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. 19. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1984

[59] Lumsdaine, Edward & Monika: Creative Problem Solving. McGraw Hill 1995

[60] Magee, Patrick T.: Braindancing. Published 1996

[61] Marra, James L.: Advertising creativity: Techniques For Generating Ideas. Prentice Hall. N.J. 1990

[62] Mattimore, Bryan W.: 99% Inspiration. Amacom (American Management Assotiation) 1994

[63] Meadows, D.: Die Grenzen des Wachstums (Bericht des Club of Rome). 15. Auflage, Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1990.

[64] Meadows, D.: Die neuen Grenzen des Wachstums. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 1992.
[65] Morgan, Michael: Creating Workforce Innovation. Business and Professional Publishing 1993
[66] Mukerjea, Dilip: Brainfinity. ISBN:019-588290-3. Oxford University Press (Singapore) 1997
[67] Müller, J.: Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Berlin u.a.: Springer-Verlag 1990
[68] Nadler, Gerald and Shozo Hibino: Breakthrough Thinking. ISBN: 1-55958-421-1. Prima Publishing 1994
[69] Nadler, Gerald and Shozo Hibino with John Farrel: Creative Solution Finding. ISBN:1-55958-567-6. Prima Publishing 1995
[70] Nickels, R. und B. Reeg: Wege zur Patent- und Markeninformation. Hessische Landes- und Hochschulbibliothek, Patentinformationszentrum 1991.
[71] Nolan, Vincent: The Innovator's Handbook – Problem Solving, Communication & Teamwork. Sphere Books
[72] Oerter: Psychologie des Denkens. Donauwörth: Verlag Ludwig Auer 1974
[73] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993
[74] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Springer Verlag, Berlin 1997.
[75] Peter, Edelbert Dold: Innovationsmanagement, Handbuch für mittelständische Unternehmen. Gentsch. Luchterhand Fachb. 2000
[76] Pepels, Werner: Innovationsmanagement. Cornelsen. Düsseldorf 1999
[77] Plsek, Paul: Creativity, Innovation and Quality. ISBN:0-87389-404-9. ASQ Quality Press 1997
[78] Popitz, Heinrich: Wege der Kreativität. Mohr, Tbg. Erschienen 2000
[79] Reinemuth, J.: Hypermediale Produktkataloge – flexibles Bereitstellen und Verarbeiten von Informationen über Zulieferkomponenten. Fortschr.-Ber. VDI-Reihe 20 Nr. 175. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995
[80] Reinemuth, J. und H. Birkhofer: Hypermediale Produktkataloge - Flexibles Bereitstellen und Verarbeiten von Zulieferinformationen. Konstruktion 46 (1994), 395-404, Springer-Verlag 1994
[81] Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Springer Verlag, Berlin 1996

[82] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1: Konstruktionslehre + Band 2: Kataloge. Berlin, Heidelberg, New-York: Springer Verlag 1994

[83] Rodenacker, W.G.: Methodisches Konstruieren. Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. 3. Auflage. Konstruktionsbücher 27. Band. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag 1984

[84] Scheitlin, Victor: Kreativität. Das Handbuch für die Praxis. Orell Füssli. Zürich 1993

[85] Schlicksupp, Helmut: Innovation, Kreativität und Ideenfindung. Vogel-Vgl. Würzbg. 1998

[86] Schneider, J.: Konstruktionskataloge als Hilfsmittel bei der Entwicklung von Antrieben. Dissertation Darmstadt 1985

[87] Schneider, M.: Produktentwicklungsmethodik in der Praxis - Empirische Untersuchung von Kooperationsprojekten in Verbund Hochschule – Industrie als Grundlage zum Verändern, Anpassen und Vermitteln von Produktentwicklungsmethoden (Arbeitstitel). Diss. TU Darmstadt. Erscheinung vorauss. 2001. VDI-Verlag

[88] Seeger, H.: Design technischer Produkte, Programme und Systeme. Berlin, Heidelberg, New-York u. a. : Springer Verlag 1992

[89] Thompson, Charles „Chic“: What a Great Idea! Key Steps Creative People Take. Harper Perennial 1992

[90] Thompson, Charles „Chic“: Yes, But… The Top 40 Killer Phrases and how to fight them. ISBN: 0-88730-660-8. Harper Business 1993

[91] Vahns, Dietmar und Ralf Burmeister: Innovationsmanagement. Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung. Schäffer Vlg. Stuttg. 1999

[92] Valance, Mike & Diane Deacon: Think Out of the Box. ISBN: 1-56414-186-1. Career Press 1995

[93] Volkamer, Klaus: Intuition, Kreativität und ganzheitliches Denken. Neue Wege zum bewussten Handeln. Suhrkamp. Ffm. 1996

[94] Wack, Otto Georg u.a.: Kreativ sein kann jeder. Windmühle Vlg. Hbg. 1998

[95] West, Michael A.: Innovation und Kreativität. Praktische Wege und Strategien für Unternehmen mit Zukunft. Beltz Fachbuch V. 1999

[96] Wycoff, Joyce: Mindmapping – Your Personal Guide to Exploring Creativity and Problem-Solving. ISBN: 0-425-12780-X. Berkley Publishing Group 1991

[97] Zangemeister, Ch.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. 4. Auflage. München: Wittemannsche Buchhandlung 1976

[98] Züst, R.: Einstieg ins Systems Engineering. Verlag Industrielle Organisation, Zürich 1997.

[99] Zwicky,F.: Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild. München: Droemer-Knaur 1966 - 1971

[100] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf, VDI-Verlag 1993

[101] VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Konzipieren technischer Produkte. Düsseldorf, VDI-Verlag 1973

[102] VDI 2222-82: Konstruktionsmethodik: Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen. Blatt 2. Berlin: Beuth-Verlag 1982

[103] VDI-Richtlinie 2222, Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. Düsseldorf, VDI-Verlag 1996

[104] VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf, VDI-Verlag 1977

[105] VDI-Richtlinie 2860: Montage- und Handhabungstechnik, Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole. Berlin: Beuth Verlag 1990

[106] VDI-Richtlinie 3239: Sinnbilder für Zubringfunktionen. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1996

Entwurfsprozess

Autor: Prof. Dr. Markus Meier

1. Überblick

Motivation – Rasenmäher

Drei Bilder aus der Entwicklung eines Rasenmähers (Studienprojekt des Jahres 2000 an der ETH) zeigen verschiedene Stadien des Entwicklungsprozesses.

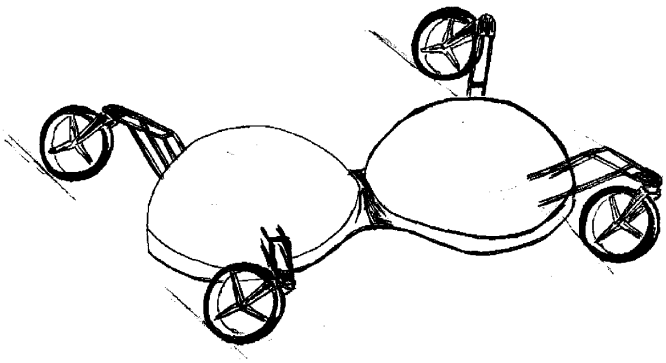


Bild (B946entZ) Ideenskizze eines vierrädrigen Rasenmäherfahrgestelles

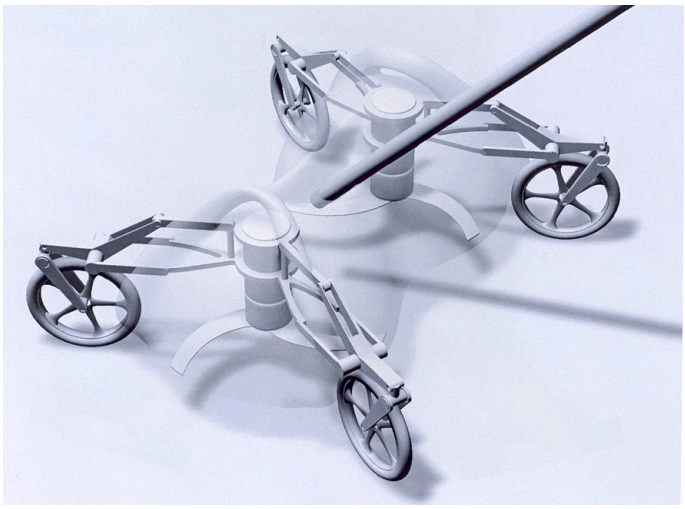


Bild (947entZ) Weiterentwickelte CAD Zeichnung der ersten Idee

Bild (948entZ) Fertige CAD Version des nun dreirädrigen Rasenmähers

Von den Prinzipskizzen und Funktionsmustern im Konzeptprozess, bis zum fertig gestalteten, CAD erfassten Produkt ist es ein langer Weg. Unzählige Entscheide über Formgebung, Materialwahl und Fertigungsmethoden müssen gefällt werden. Jeder Entscheid ist mit anderen Entscheiden gekoppelt. Berechnungen, Visualisierungen und Simulationen werden durchgeführt um am Ende ein qualitativ hervorragendes Produkt zu erhalten.

Lernziele

Die Studierenden:

- können den Entwurfsprozess einordnen und den Input, die Ziel und den Output erläutern.
- kennen die Strategien des Gestaltens und können diese beschreiben.
- kennen weitere Richtlinien und Regeln und sind in der Lage, diese an einer Konstruktion zu interpretieren und zu diskutieren.
- verstehenden den Begriff und die Bedeutung des Kraftflusses und können Kraftflüsse in Konstruktionen zuordnen und diskutieren.
- sind in der Lage konstruktive Verbesserungen an bestehenden Konstruktionen vorzuschlagen.

- können Methoden aufzählen und die Zielsetzungen beschreiben.

Einleitung

Der Entwurfsprozess lässt sich im Gesamtentwicklungsprozess zwischen dem Konzeptprozess (in VDI 2221 Ausarbeitung genannt) und dem Dokumetationsprozess eingliedern. Im Entwurfsprozess werden alle Eigenschaften des zukünftigen Produktes in Bezug auf die Produkt-Struktur (Baustruktur) als auch Material, Oberflächen, Design, Fertigungsverfahren usw. festgelegt. Dieser Prozess ist - abhängig von der Produktart, den Personen und den eingesetzten Werkzeugen - sehr unterschiedlich geartet. Die sprunghafte Arbeitsweise von grob zu detailliert, von abstrakt zu real ist nicht (oder nur fragmentiert) in einem geradlinigen Prozessablauf abbildbar.

Verschiedenste Strategien, Regeln, Vorschriften und Richtlinien helfen jedoch, die Qualität des Prozesses sowohl in funktioneller und zeitlicher als auch in kostenorientierter Sicht effizient und effektiv, vor allem aber bewusst zu machen. Die Sektion „Entwurfsprozess“, angelehnt an die Norm DIN 2223 (Entwurf), ordnet die verschiedensten Aspekte und verhilft zu diesem Überblick des Gesamtprozesses.

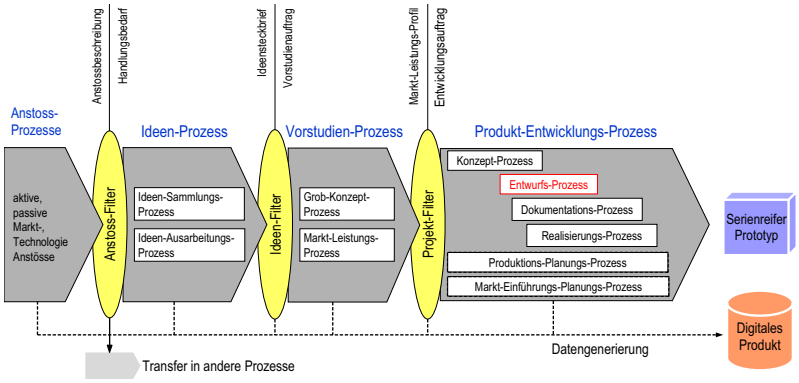


Bild (B110entZ) Innovationspfeil

2. Verschiedene Aspekte des Entwurfsprozesses

Zunächst beschäftigen uns die folgenden Themen:

- die Eingliederung und Zielsetzung,
- der Gestaltungsprozess im Entwurfsprozess,
- der ideale Entwurfsprozess,
- der Output des Entwurfsprozesses,
- CAD im Entwurfsprozess und
- der reale Entwicklungsprozess.

2.1. Eingliederung und Zielsetzung

Bei Produkten folgt der Entwurfsprozess auf den Konzeptprozess. Dieser liefert Prinzipskizzen, Machbarkeitsstudien und Funktionsmuster einerseits und eine erweiterte und präzisierte Anforderungsliste und Kosten- und Terminziele andererseits.

Der Konzeptprozess liefert z.T. erste konstruktive Entwürfe, Muster oder einfache Prototypen von Teilbereichen des Produktes. Dies ist vielfach notwendig, weil im Konzeptprozess die Prinzipskizzen allein nicht zur Beurteilung der Machbarkeit genügen.

Bei Anpassungs- oder Variantenkonstruktionen existieren schon frühere Dokumentationen bzw. Gesamtentwürfe, welche als Ausgangsbasis dienen.

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf den allgemeineren Fall der Neuentwicklung.

Das Ziel des Entwurfsprozesses besteht darin, dass alle Produkteigenschaften, sowohl Modul- als auch Bauteileigenschaften sowie deren Relationen untereinander, soweit definiert sind, dass die Erfüllung der Anforderungen garantiert ist und der Dokumentationsprozess gestartet werden kann.

Die am Ende des Entwicklungsprozesses vorliegende Dokumentation besteht aus massstäblichen Entwürfen, CAD Modellen, der Produktstruktur, den Bauteileigenschaften sowie weiteren Produktdaten. Zusätzlich sind auch die Terminpläne und Kostenübersichten aktualisiert, konkretisiert und dokumentiert.

Input:

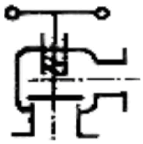
- Anforderungen
- Prinzip-Skizze
- Machbarkeitsstudien
- Designstudien
- Kostenziele
- Terminplanung

Entwurfsprozess

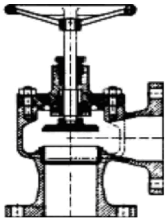
Output:

- Massstäbliche Entwürfe
- Produktstruktur, Module, Stücklisten
- Baugruppen und Eigenschaften der Bauteile, wie Leistungswerte, Formgebung, Material, Fertigungsverfahren
- Schnittstellen
- Kostenstruktur
- Terminierung

Bild (B104entZ) Übersicht des Entwurfsprozesses mit Input- und Outputdokumenten



Entwurfsprozess



Anforderungen:

Durchfluss	x [L/min]
Druck	y [bar]
Herstellkosten	z [CHF]
Stückzahl	w [Stück/Jahr]

Stückliste,
Herstellverfahren, Material,
Lieferant der Bauteile
Herstellkostenziel der Baugruppe und -teile
Berechnungen
Designstudie, Prototyp,
Projektpläne, ...

Bild (B101entZ) Entwurf am Beispiel eines Eckventils

2.2. Gestaltungsprozess im Entwurfsprozess

Der Entwurfsprozess umfasst sowohl die eigentlichen gestaltenden Prozesse wie z.B. das Festlegen der Eigenschaften als auch die organisatorischen Aspekte und den Einsatz geeigneter Engineering-Werkzeuge. Der Gestaltungsprozess ist somit ein Unterprozess des Entwurfsprozesses.

Entwurfsprozess:

Bild (B002entZ) Entwurfs- und Gestaltungsprozess

2.3. Idealer Entwurfsprozess

Wie schon erwähnt ist der Entwurfsprozess ein sehr iterativer, ja sogar sprunghaft verlaufender Prozess. Innerhalb jedes Teilschrittes müssen Dutzende von Regeln, Richtlinien und Prinzipien gleichzeitig berücksichtigt werden und jeder Teilentscheid beeinflusst wiederum viele weitere Aspekte benachbarter Baugruppen und -teile und ergibt vor allem wiederum neue Fragestellungen.

Beispiel

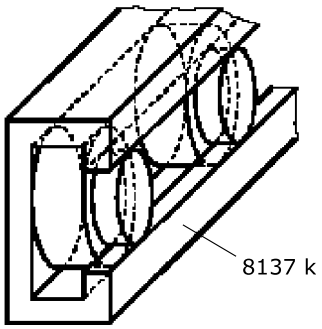


Bild (B900entZ) Zuführschiene für Kleinteile [3]

- Gestaltungsentscheid:
  - Vernickeln der Führungsschiene wegen Korrosionsgefahr
- Neue Fragestellungen:
  - Kosten Vernickeln
  - Spielreduktion durch Schicht
  - Tribologische Eigenschaften

Überblick

Um den Überblick dennoch zu behalten und sich vorerst von allen beeinflussenden Aspekten zu lösen, soll ein rein sequentieller Ablauf zu Grunde gelegt werden – demnach ein sehr vereinfachter Entwurfsprozess.

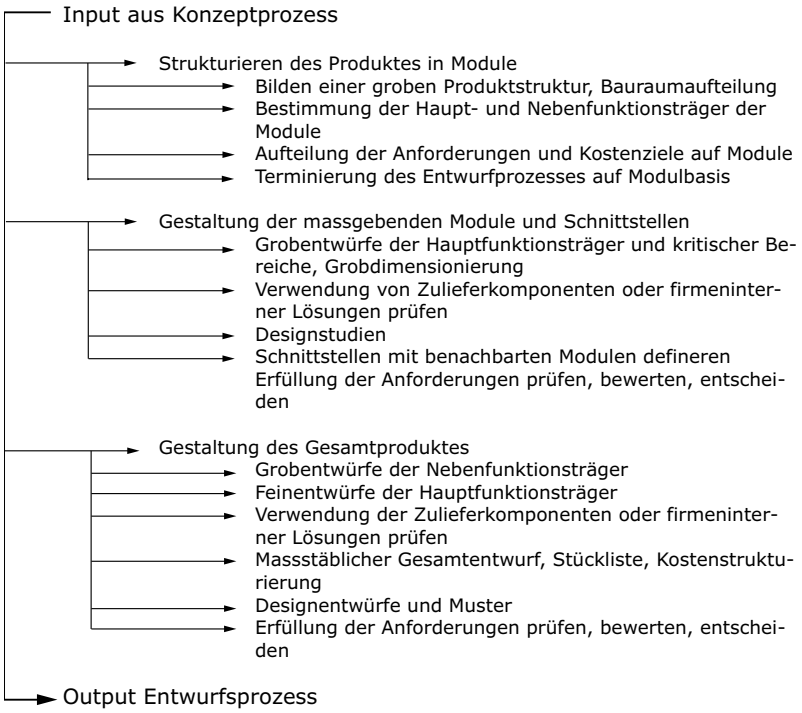


Bild (B001entZ) Idealtypischer Entwurfsprozess im Überblick

Bemerkungen zu den Teilprozessen

- Strukturierung des Produktes in Module
  Im Gegensatz zur Funktionsstruktur des Konzeptprozesses wird das Produkt in physikalische Baugruppen einschliesslich deren Verknüpfungen (Schnittstellen) gegliedert. Verschiedene Richtlinien und Empfehlungen helfen, eine optimale Struktur des Produktes zu erhalten.
- Meist werden die einzelnen Module durch verschiedene Projektteams oder Personen bearbeitet und verantwortet. Eine Aufteilung der Anforderungen und Kosten sowie eine detaillierte Terminierung der Module erweist sich als sinnvoll bzw. notwendig (Target Costing).

- Gestaltung der massgebenden Module und Schnittstellen
  Die Gestaltung der Bauteile und -gruppen wie auch die organisatorischen Aspekte der Produktgestaltung sind untereinander komplex vernetzt. Wesentliche Funktionsträger umfassen meist mehr Verknüpfungen als Nebenfunktionsträger. Um den Prozess effizient durchzuführen, lohnt es sich die Gestaltung der massgebenden Module und der Schnittstellen prioritär anzugehen. Dies schliesst auch deren Dimensionierung ein.
  Sehr vorteilhaft ist es, sich bestmöglich nach existenten Lösungen für die benötigte Funktion im Unternehmen selbst, aber auch auf dem Zuliefermarkt zu erkundigen und diese sinnvoll zu integrieren. Meist werden mehrere Varianten der Grobentwürfe ausgearbeitet, welche alle im Anschluss mit den Anforderungen verglichen, bewertet und ausgewählt werden.
- Gestaltung des Gesamtproduktes
  Parallel werden nun die verschiedenen Nebenfunktionsträger grob gestaltet und die Hauptfunktionsträger verfeinert. Stets sind die verschiedenen Bereiche aufeinander abgestimmt.
  Kontinuierlich erhöht sich der Konkretisierungsgrad der Module und Schnittstellen, immer unter Berücksichtigung aller Regeln, Vorschriften und Richtlinien, welche wir später einzeln darstellen werden.

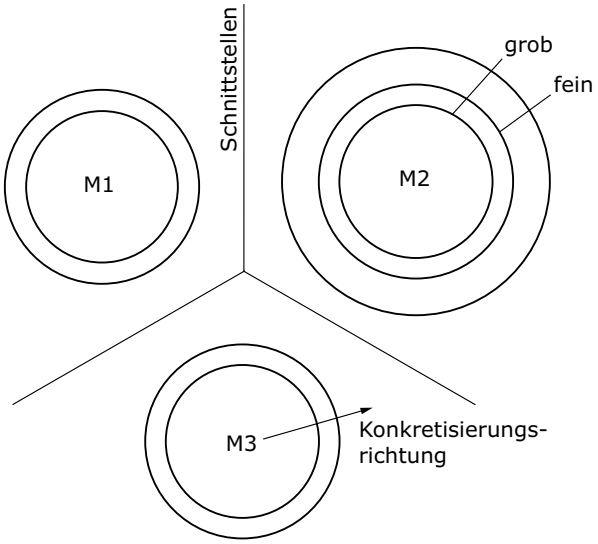


Bild (B003entZ) Bildliche Darstellung des Entwurfsprozesses
(M1–M3: Modul, Hauptfunktionsträger)

2.4. Output des Entwurfsprozesses

In der Sektion „Produkt-Innovations-Prozess“ wurde gezeigt, dass der Entwicklungsprozess auch mittels Repräsentationsebenen dargestellt werden kann. Während wir uns im Konzeptprozess noch auf den Ebenen Anforderungsliste, Prinzipskizze, Designstudien etc. befinden, wird die Konkretisierung im Entwurfsprozess weiter erhöht.

Am Ende des Entwurfsprozesses haben wir die folgenden Repräsentationen in unterschiedlicher Detaillierungstiefe erreicht:

- Massstäblicher Gesamtentwurf des Produktes und der Module
- Produktstruktur inkl. vorläufiger Stückliste
- Grob- und teilweise Feingestaltungen der Baugruppen und –teile mit:
  - Materialwahl
  - Fertigungsverfahren
  - Dimensionierungsunterlagen
  - Lieferanteninformation
- Prototypen (digital oder real)
- Vorläufige Montageanleitung
- Kostenkalkulationen (strukturiert)
- Verfeinerte Terminplanung

2.5. CAD im Entwurfsprozess

Eine immer wieder offene Frage ist der optimale Einsatz des CAD im Entwurfsprozess. Ab wann, bzw. ab welcher Konkretisierungsstufe lohnt es sich, die Gestaltung in CAD durchzuführen, oder aber weiterhin von Hand zu skizzieren? Einmal mehr gibt es auch hier keine eindeutige Antwort. Klar ist nur, dass der Wechsel während oder am Ende dieses Prozesses erfolgt. Die folgenden Punkte können zur Entscheidung beitragen:

- Bei Anpass- und Variantenentwicklungen existieren schon CAD-Modelle, welche sinnvollerweise als Basis genommen werden.
- Beim grosszügigen, grobmassstäblichen Entwerfen hemmt CAD die notwendige Kreativität
- Beim verteilten Arbeiten sichert das CAD die geometrische Abstimmung zwischen den Modulen frühzeitig ab und die Kommunikation zwischen den Teams hat eine einheitliche Basis.

- CAD-Skizzen sind für die Konkretisierung (Dokumentation, FEM, Rapid Prototyping, ...) weiter verwendbar, die Handskizze jedoch nicht.
- Verschiedene Dimensionierungs- und Simulationssoftware basieren auf CAD-Modellen.

Der Wechsel von einem Medium zum anderen ist auch stark abhängig von der Person, die entwirft. Während die einen solange wie möglich mit Handskizzen arbeiten (mit teilweise extrem hohem Informationsgehalt), wechseln andere fast ab Beginn des Entwerfens auf das CAD und beweisen auch dort eine hohe Kreativität.

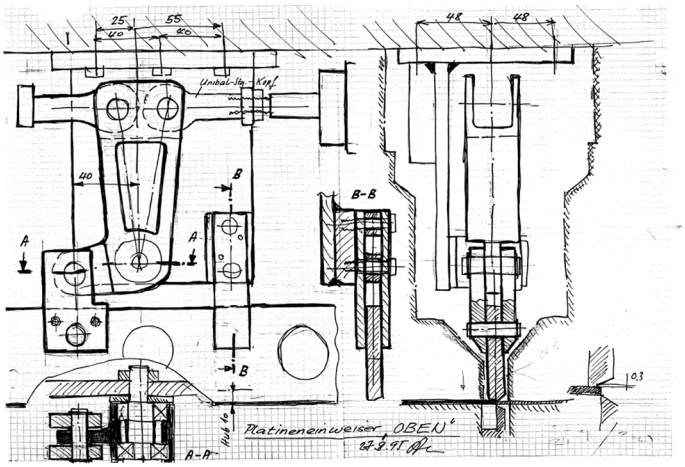


Bild (B063entZ) Massstäbliche Entwurfszeichnung von Hand erstellt (Aebersold, Soudronic AG); hoher Informationsgehalt.

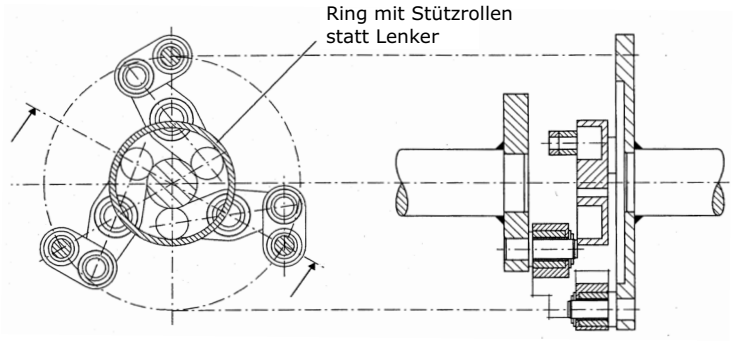


Bild (B901entZ) Entwurf einer Ausgleichskupplung mit CAD erstellt

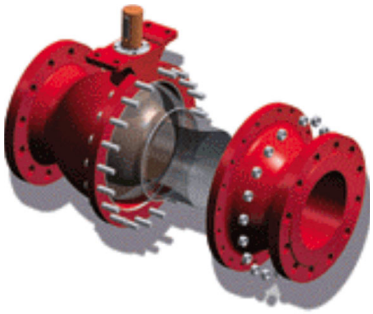


Bild (B902entZ) Entwurf eines Ventils mit 3D-CAD (Quelle: Unigraphics Solutions)

2.6. Realer Entwicklungsprozess

Der dargestellte Ablauf ist stark vereinfacht. Im realen Fall stellt sich der Ablauf als äusserst iterativ und sprunghaft dar und eine grosse Anzahl von Regeln, Richtlinien und Prinzipien müssen simultan berücksichtigt werden. Nur unter diesen Voraussetzungen kann der Entwurfsprozess qualitativ erfolgreich durchgeführt werden.

Das folgende Bild gibt einen ersten Überblick über die Strategien, Richtlinien, Handlungsweisen, Regeln und Prinzipien, welche zu beachten sind:

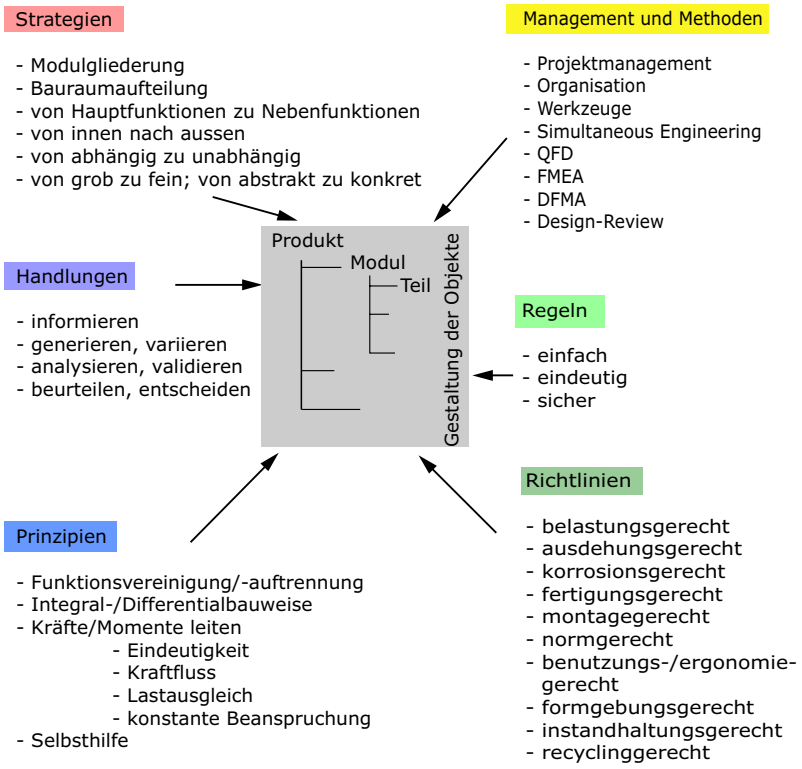


Bild (B004entZ) Beeinflussung des Gestaltungsprozesses im Überblick

Den einzelnen Aspekten sind vertiefende Kapitel gewidmet.

3. Das Gestaltungsobjekt und seine Eigenschaften

Ein zu gestaltendes Produkt besteht aus einer endlichen Anzahl von Objekten bzw. Elementen. Dabei kann es sich in einer ersten Gliederungsstufe um Baugruppen (Module) und in einer weiteren um Bauteile handeln. Das Bauteil selber besteht wiederum aus einer Menge von Teilobjekten, wie z. B. Flächen bzw. Formelementen. Formelemente (Formfeatures) sind Verbünde von Flächen, die meist eine genormte Kombination darstellen. Beispielsweise beschreibt ein genormter Welleneinstich oder ein Gewindeloch ein Formfeature.

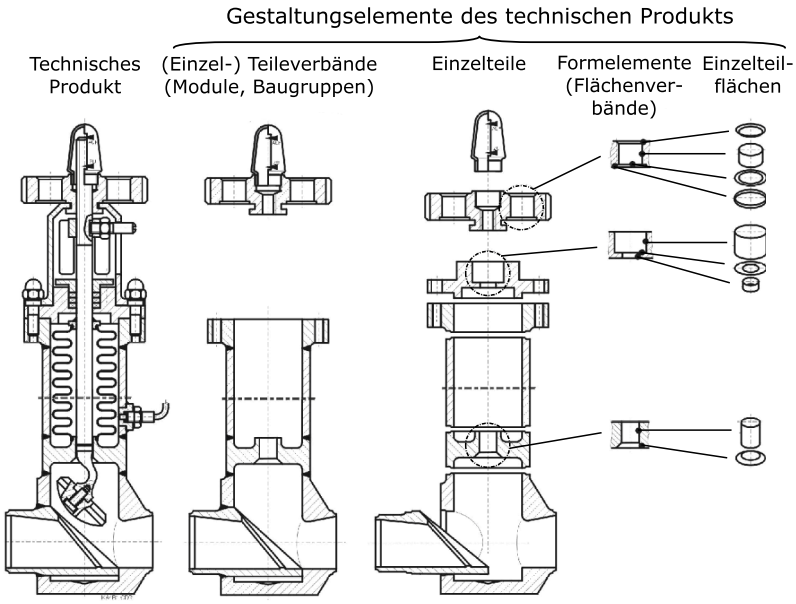
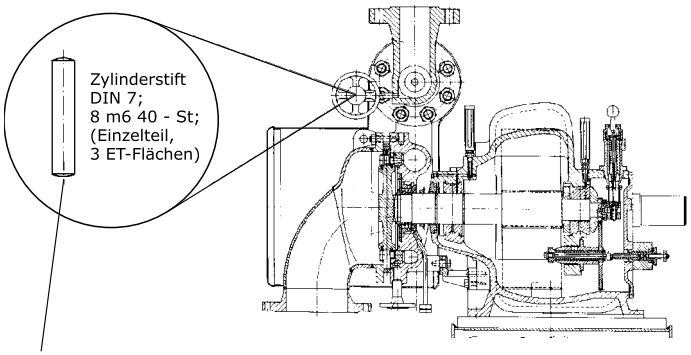


Bild (B903entZ) Gliederung eines Ventils in Gestaltungselemente (Quelle: VDI 2223)

Jedes dieser Objekte, von der Fläche bis zum Gesamtprodukt, wird durch Eigenschaften (Merkmal x Ausprägung bzw. Wert) beschrieben und das Schwergewicht des Gestaltungsprozesses besteht darin diese Eigenschaften quantitativ festzulegen.

Als Beispiel für die grosse Anzahl von Eigenschaften, welche schon ein einfaches Element aufweist, sei im folgenden Bild ein Zylinderstift aus einer Turbine, dem Gesamtprodukt, herausgezogen.



1 Einzelteil (Zylinderstift) mit ca. 20 Gestalt- und Werkstoffeigenschaften wie
- 1 Zylinderfläche mit ∅ 8 und Länge 40
- 2 Kugelabschnitte mit ∅ 15 und Mittelpunkt auf Zylinderachse
- Werkstoff E360

Bild (B005entZ) Gestalt- und Werkstoffeigenschaften

Der Zylinderstift ist als Objekt ein Einzelteil und wird in der Gestaltung nicht mehr weiter aufgelöst, denn implizit (über die Normung) ist mit den Angaben auch das Herstellungsverfahren, die Oberflächenqualität und die Geometrie der Kugelabschnitte festgelegt.

Nebst diesen Geometrie- und Materialeigenschaften existieren noch weitere Merkmale, welche dem einzelnen Element zugeordnet werden müssen. Beispiele dafür sind der Lieferant, der Preis, durchgeführte Festigkeitsberechnungen etc. Diese Eigenschaften werden vielfach auch Metadaten genannt.

Die Eigenschaften eines Teileverbundes (Baugruppe, Modul) können nun auf die Summe seiner Teilelemente zurückgeführt und durch eigene Eigenschaften ergänzt werden (z. B. Montagevorschrift, Prüfvorschrift etc.).

Dokumentiert werden diese Eigenschaften direkt auf den Handskizzen bzw. auf der provisorischen Stückliste oder aber, falls schon EDV-Mittel eingesetzt werden, im entsprechenden Produktmodell, z. B. im PDM-System (Product-Data-Management Software).

4. Bedeutung der Anforderungen

Während des Gestaltens werden die Eigenschaften der Objekte festgelegt. Dabei kann es sich um direkte Eigenschaften, wie die eigentlichen Gestaltungseigenschaften Form, Anordnung, und um Werkstoffeigenschaften, wie Material oder Wärmebehandlung, handeln.

Indirekt festgelegt werden gleichzeitig Eigenschaften wie Materialkosten, Gewicht, Montageart, Fügekraft, Recyclingfähigkeit etc.

Vor allem diese indirekten Eigenschaften korrelieren meist mit den Anforderungen, welche an unser Produkte gestellt werden.

Wie stark die Anforderungen die Gestaltungseigenschaften beeinflussen, kann am Beispiel eines Lagerbockes gezeigt werden. Im Speziellen zeigt das Beispiel den massgebenden Einfluss der Stückzahl auf die Wahl des Fertigungsverfahrens.

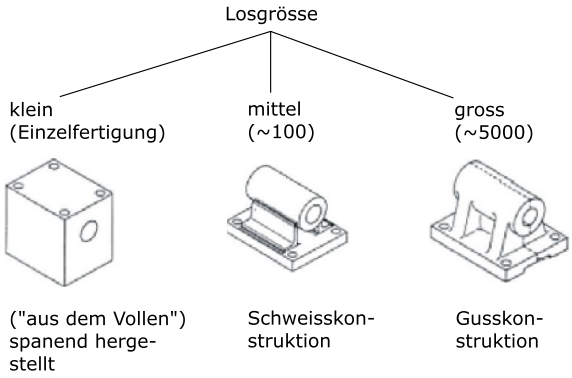


Bild (B064entZ) Anforderungen beeinflussen die Eigenschaften.

Abhängig von der Wahl des Herstellungsverfahrens schränkt sich, direkt gekoppelt, auch die Wahl möglicher Materialien ein.

Die Anforderungen schränken die freie Wahl der Gestaltungsmöglichkeiten ein.

Gestalten ist somit ein Optimieren der Gesamtheit aller Eigenschaften in einem vieldimensionalen Lösungsraum zur bestmöglichen Erfüllung der Anforderungen.

Zusätzlich beeinflussen noch weitere Faktoren, welche nicht im Anforderungskatalog zu finden sind, den Gestaltungsprozess.

Es sind dies zum Beispiel:

- Industriezweig/Branche:

Abhängig davon, in welchem Industriezweig das Produkt entwickelt wird, kommen unterschiedliche Gestaltungen (z. B. Hydraulik im Landwirtschaftsmaschinenbau) zur Anwendung.

- Erfahrung:
  Abhängig von der Erfahrung und dem Know-how der Entwickler können unterschiedliche Vorgehensweisen und Lösungen resultieren.
- Werkzeuge:
  Starken Einfluss auf den Prozess selber hat der Einsatz von Werkzeugen wie CAD, CAE und PDM sowie Rapid Prototyping.

5. Strategien des Gestaltens

Das Gestaltens zielt gesamthaft darauf, in möglichst kurzer Zeit die Eigenschaften der Objekte festzulegen und dabei die Anforderungen bestmöglich zu erfüllen. Wir suchen nicht nur eine gute Lösung, wir möchten dies auch auf einem effizienten Weg vollziehen. Einige Strategien sind daher nützlich und haben sich bewährt.

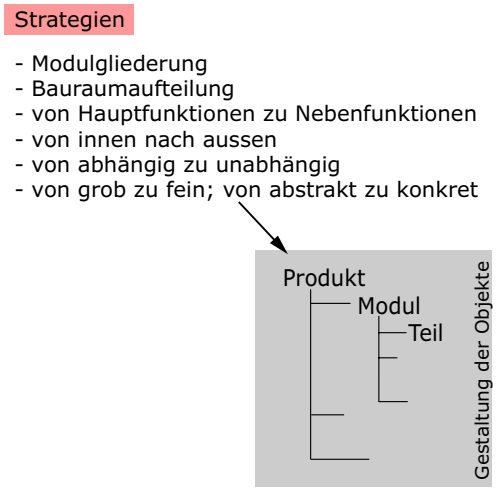


Bild (B904entZ) Strategien des Gestaltens im Überblick

5.1. Modulgenerierung

Eine enorme Bedeutung für den Erfolg des Produktes ist die geschickte Aufteilung in einzelne Baugruppen, auch Module genannt. Einige Gründe für diese hohe Bedeutung sind:

- Der Trend nach individuellen Produkten ist steigend. Die Kunden wünschen spezifische Lösungen, die Ihre Bedürfnisse befriedigen. Produkte, welche modular auf einer Produktplattform basierend aufgebaut sind, können diese Wünsche durch vielfältige Kombinatorik erfüllen. Ein sehr typisches Beispiel sind heutige Personenwagen. Basierend auf einem Plattformkonzept können unterschiedliche Motorstärken, Türenkonzepte, Innenausstattungen, Farben usw. realisiert werden.

Beispiele:

Bild (B201entZ) Lego als Beispiel für ein modulares Produktkonzept

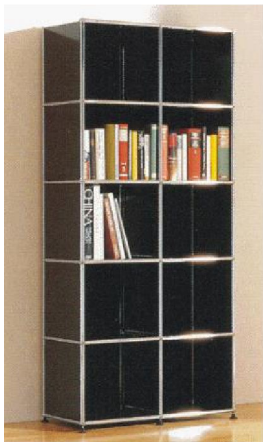


Bild (B202entZ) Büromöbel als Beispiel für ein modulares Produktkonzept (USM)

Solche Kombinatorik ist nur dann möglich, wenn diese schon in frühester Entwicklungsphase angestrebt wird.

- Die Aufteilung in Module ermöglicht während des Entwerfens paralleles Vorgehen in Teilteams oder sogar mit externen Ingenieurbüros oder Lieferanten.
- Die Fertigung und Montage kann zeitlich parallel an mehreren Modulen erfolgen und z. B. in vormontierter Ausführung zwischengelagert werden.

- Die Wartung der Produkte kann vereinfacht werden, weil Module gesamtheitlich ausgetauscht werden können (z. B. Grafikkarten im PC).
- Das Recycling wird verbessert, weil noch funktionsfähige Komponenten wieder in neue Produkte zurückgeführt oder artgerecht entsorgt werden können.

Diese Gründe zeigen, dass die Modulgenerierung nicht nur aus Sicht des effizienten Entwurfsprozesses von Bedeutung ist, sondern auch aus dem Blickwinkel des gesamten Produkt-Lebens-Zyklus. Mögliche Thesen einer Modulstruktur sind:

- Module sind funktionell und räumlich abgeschlossene Einheiten.
- Module sind überblickbar und haben einen klaren Leistungsbeschrieb.
- Die Schnittstellen zwischen den Modulen sind eindeutig und möglichst einfach beschreibbar.
- Die Modularisierung lehnt sich an die funktionelle Gliederung an.
- Die Gliederung erfolgt nach nutzbringenden Kriterien für alle Prozesse des Life-Cycle (Verkauf, Montage, Lagerung, Nutzung, …).

Den Modulen und u. U. den Submodulen werden Namen für die weitere Identifikation vergeben (Antriebsstrang, Bremssystem, ...)

Jedes Modul ist eine in sich geschlossene Einheit und übernimmt Teilaufgaben aus der gesamthaften Anforderungsliste. Diese umfangreiche Anforderungsliste des Produktes wird in Teilanforderungen „aufgebrochen" und auf die einzelnen Baugruppen übertragen, sowie die Verantwortung und Terminierung für jedes Modul festgelegt.

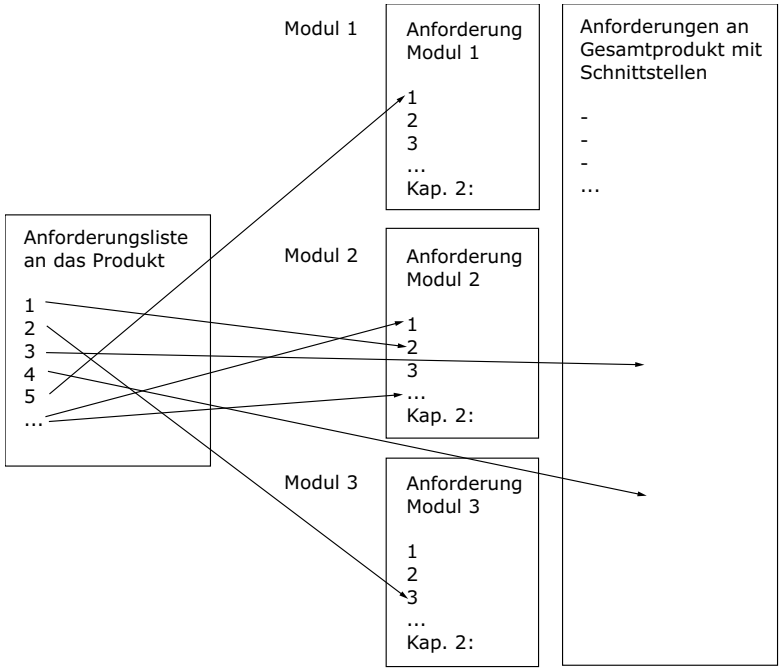


Bild (B011entZ) Aufbrechen der Anforderungsliste in die Module und Anforderungen für das Gesamtprodukt.

Ergänzend werden neue Anforderungen an diese Module gestellt, wie:

- Räumliche Begrenzung (Bauraum) des Moduls
- Mechanische Schnittstellen und – falls vorhanden – Signalaustausch

Empfehlung: die Abhängigkeiten unter den einzelnen Modulen sind meist gross und jeder Arbeitsschritt ergibt neue Eigenschaften, die gegenseitig definiert werden müssen. Auch kommen weitere Gedankenblitze, Ideen und Problemstellungen laufend hinzu, so dass es sich lohnt, ein Notizheft (Papier oder EDV) immer auf sich zu tragen, in dem diese Themen jederzeit notiert und zu einem späteren Zeitpunkt abgeklärt und bearbeitet werden können.

Schon zu Beginn der Entwurfsphase wird physisch oder digital ein Modulordner mit sinnvoller Gliederung angelegt. Gestartet wird mit wenig Inhalt, wie z. B. Entwicklungsauftrag, Anforderungsliste, Terminplan, Produktstruktur und Skizzen aus dem Entwurfsprozess. Während des Entwurfsprozesses werden die Dokumente in sauberer und übersichtlicher Form abgelegt, um für die Arbeit selbst eine Ordnung zu haben, aber auch um in einem Produkthaftfall auf die Dokumente zurückgreifen zu können.

Moderne EDV-Systeme (PDM Product-Data-Management) erlauben es, diese Dokumente schon zu einem frühen Zeitpunkt anzulegen und zu verwalten.

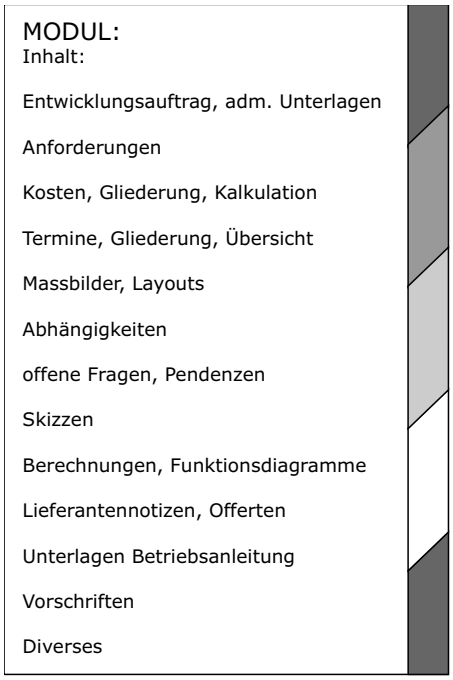


Bild (B905entZ) Mögliches Inhaltsverzeichnis für einen Modulordner

5.2. Bauraumaufteilung und Hüllelement

Der erste Schritt des Gestaltens liegt in einer groben Aufteilung des gesamten Bauraumes in Teilbereiche (Bauraumaufteilung), Begrenzungen und Hüllelemente.

Begrenzungen können z. B. benachbarte Baugruppen, welche schon festgelegt sind, oder das Fundament, Wände etc. sein. Zu diesem Zeitpunkt wird auch meist ein gemeinsames Bezugssystem für das Produkt (Basiskoordinaten) festgelegt und, falls sinnvoll, die Koordinaten zum globalen System definiert.

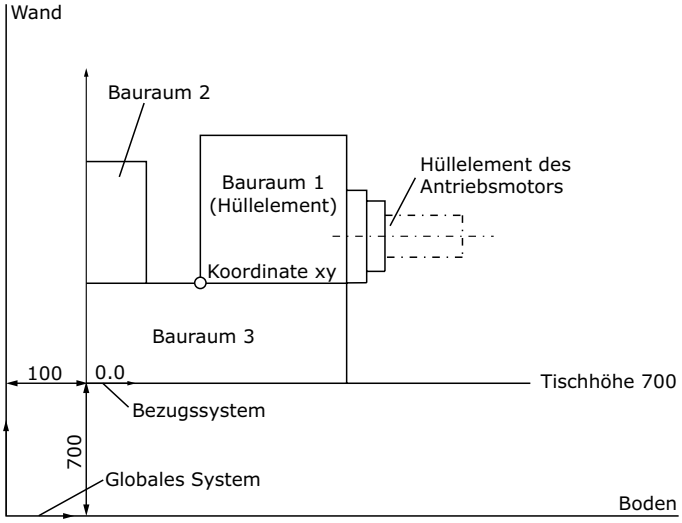


Bild (B012entZ) Beispiel einer Bauraumaufteilung mit dem globalen System des Bodens und der Wand, dem bestehenden Antriebsmotor symbolisiert mit einem Hüllelement und drei Bauräumen für das zu entwickelnde Produkt und dessen Bezugskoordinaten.

Die einzelnen Bauräume definieren provisorisch die räumliche Anordnung und Ausdehnung der einzelnen Module.

Die Hüllelemente sind Vereinfachungen der schon bekannten groben Form und Abmessung eines Objektes, aber der noch unbekannten Gestalt. Hüllelemente können auch später während des Gestaltens als Platzhalter von benachbarten Objekten oder schon gestalteten Objekten eingesetzt werden.

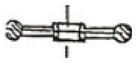
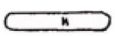
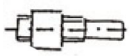
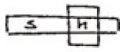
Teilsysteme	Teillösungen	Hüllelemente
Handrad		
Spindel mit Mutter		
Dichtung		
Ventilteller		
Rohr-krümmer		

Bild (B013entZ) Beispiele von Hüllelementen [1]

5.3. Strategien der Konkretisierung

Vor der unüberblickbaren Aufgabe des Gestaltens stehend, stellt man sich die Frage „Wo fange ich an?“, damit eine minimale Anzahl von Iterationen durchlaufen werden muss. Der erste Schritt liegt sicher im gezeigten Modulierungsschritt.

Der weitere Gestaltungsablauf kann in mehrere Strategierichtungen, die im Folgenden Konkretisierungsstrategien genannt werden, unterteilt werden:

- Von der Hauptfunktion zur Nebenfunktion:
  Die Hauptfunktionen eines Moduls beinhalten meist die grösste Bedeutung und die meisten Abhängigkeiten zu den benachbarten Modulen. Deshalb lohnt es sich, diese zuerst zu selektieren und prioritär anzugehen.
- Von Bekanntem zu Unbekanntem:
  Teilweise sind Teilbereiche schon festgelegt oder bekannt und es ist effizient, von dort auszugehen und im Umkreis des Bekannten fortzufahren.
- Von innen nach aussen:
  Vielfach nehmen die gegenseitigen Abhängigkeiten auch von innen nach aussen ab, sodass sich die Strategie bewährt, innen zu starten und nach aussen fortzufahren.
- Von grob zu fein, bzw. von abstrakt zu konkret:
  Die Konkretisierungen eines Bereiches werden immer nur soweit wie sinnvoll und notwendig betrieben. Es lohnt sich nicht, einen Bereich schon als Feinentwurf mit allen Details zu gestalten, wenn unklare Abhängigkeiten im Umfeld noch starke Modifikationen an den Objekten bewirken können.

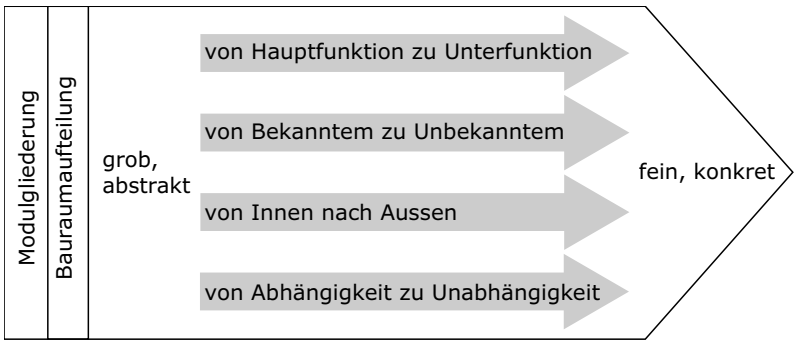


Bild (B906entZ) Effiziente Strategien in der Gestaltung

Beispiel: Von einer Welle wird in einem ersten Schritt der Durchmesser grob dimensioniert, die Lagerung bestimmt und erst in einem späteren Zeitpunkt die Feingestaltung der Welle, z. B. die gestalterische Bestimmung der axialen Sicherung der Welle, durchgeführt.

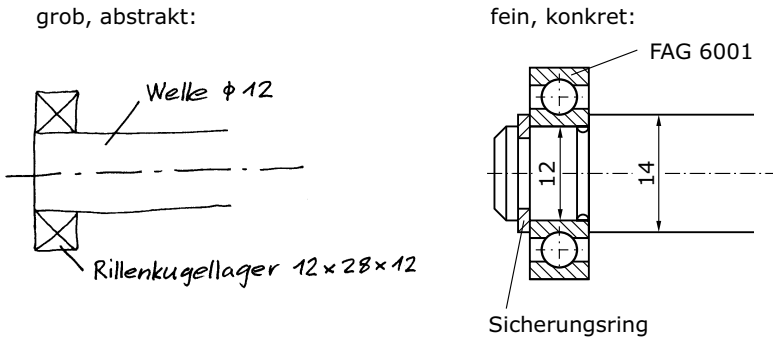


Bild (B014gesZ) Beispiel Grob- und Feingestaltung

6. Basishandlungen des Gestaltens

Die gezeigten Strategien beschreiben bewährte, übergeordnete Vorgehensweisen beim Gestalten. Die Basishandlungen hingegen beschreiben die Tätigkeiten, welche permanent durchlaufen werden und so den Prozess zyklisch begleiten.

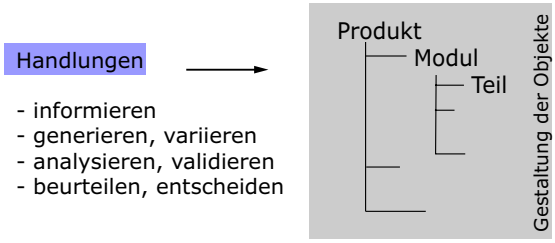


Bild (B907entZ) Basishandlunge im Überblick

Jede Problemstellung, sowohl eine kleine als auch eine grosse, wird durch den allgemeinen Problemlösungszyklus bewältigt. Für den Entwurfsprozess heisst dies:

- informieren und abgrenzen,
- generieren und variieren,
- analysieren und validieren bzw.
- bewerten und entscheiden.

6.1. Informieren und abgrenzen

Eine sehr zeitintensive Tätigkeit ist das Informieren, Klären und Abgrenzen der Problemstellung.

Bemerkung: Dieser Teilprozess war schon im Markt-Leistungs- und Konzeptprozess wesentlich, um die Anforderungen vollständig zu erfassen.

- Ist die genaue Problemstellung bekannt und abgegrenzt?
  - Diskussion mit Marketing, Kunde, Service, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern
  - Studium der Anforderungen
- Sind alle Anforderungen bekannt und verstanden?
  - Studium der Anforderungen
  - Diskussion
  - Studium von Kundenumfragen, Service-Rapporten und Reklamationen

    - Vorgängerprodukt kennen lernen
    - Konkurrenzprodukt kennen lernen und testen
- Existieren Voruntersuchungen und Abklärungen?
    - Studium und Gespräch
- Existieren bewährte Lösungen in oder ausserhalb des Unternehmens?
    - Suche nach Lösungen im Unternehmen durch Gespräche
    - Suche nach externen Lösungen an Messen, in Katalogen, im Internet, in Zeitschriften, in der Literatur und in Fachbüchern
- Gibt es Patente?
    - Abklärungen im Internet oder durch Patentanwalt

Diese und viele weitere Fragen helfen, das Problem ganzheitlich zu verstehen und eine gute Ausgangslage für die weitere Bearbeitung zu haben (generieren und variieren).

6.2. Generieren und variieren

Die Kerntätigkeit des gesamten Gestaltens liegt im Generieren von Lösungen bzw. im Festlegen der Eigenschaften von Objekten.

Eine Hilfestellung dazu können folgende Fragen geben:

- Gespräch mit Kollegen und Kolleginnen
    - Haben Kollegen/Kolleginnen Erfahrung auf dem Gebiet oder können sie sonst weiterhelfen?
- Gibt es bewährte Lösungen im Unternehmen?
    - Können diese übernommen, variiert und angepasst werden?
- Gibt es in anderen Anwendungsgebieten Lösungen ähnlicher Natur?
    - Hilft die Anwendung der Kreativitätstechnik?
    - Könnte die Methode der Synektik weiterhelfen?
- Hilft ein Lösungskatalog?
    - Konsultation von Lösungskatalogen

„*Eine* Lösung ist keine Lösung" ist eine bedeutende Aussage im Entwurfsprozess. Erst durch mehrere Varianten erkennt man Vorteile und Nachteile der einzelnen Lösungen und erhält die Möglichkeit, sich einer optimalen Lösung anzunähern. Vielfach ist es auch so, dass die erste Lösung durch Assoziationen weitere Lösungen hervor bringt und so weitere Verbesserungen nach sich zieht.

Es ist aber schwierig, sich von der ersten Lösung wieder zu distanzieren, um Platz für weitere Gedanken zu machen. Vor allem wenn es um eigene Ideen geht, grenzt man sich selber ab und befindet sich in

einer Sackgasse. Systematisches Variieren kann Anregungen bieten sich aus dieser Sackgasse heraus zu bewegen.

Entsprechende Beispiele von Varianten sind:

- Variation des Materials
- Variation des Herstellverfahrens
- Variation der Wirkflächen
- Geometrische Umkehr
- Variation der Wirkkörper
- Variation des Wirkprinzips
- Variation der kinematischen Kette (gedankliche Umkehr)
- Variation des Kraftflusses

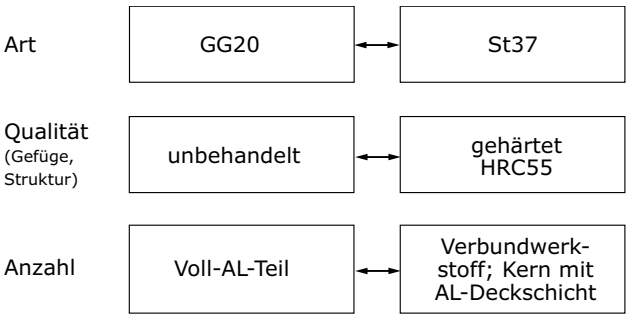


Bild (B908entZ) Materialvariation

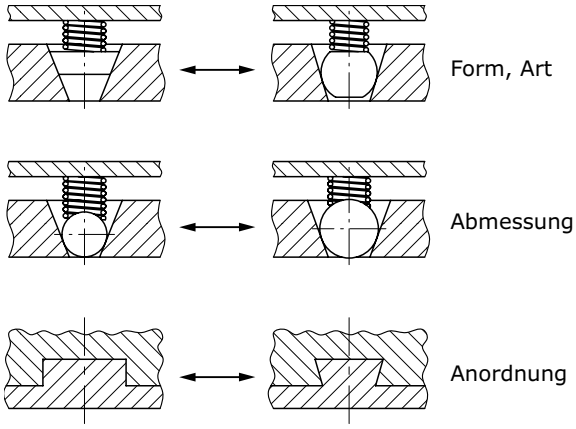


Bild (B910entZ) Wirkflächenvariation [3]

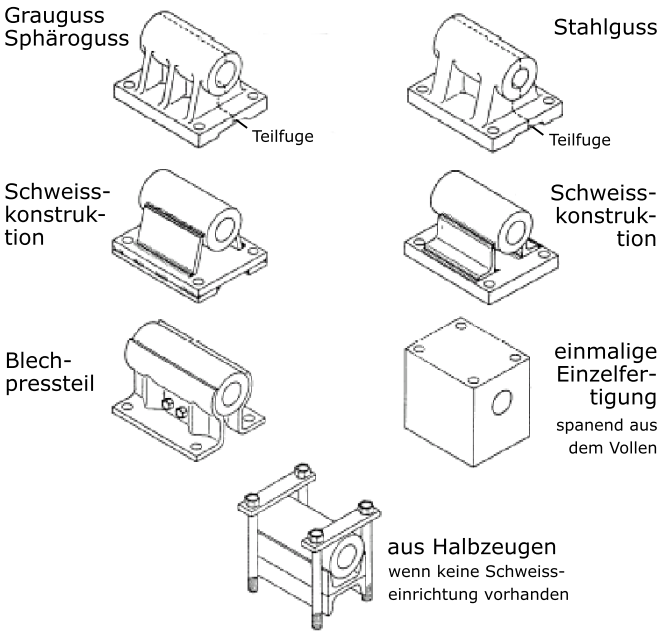


Bild (B909entZ) Herstellungsvariation [3]

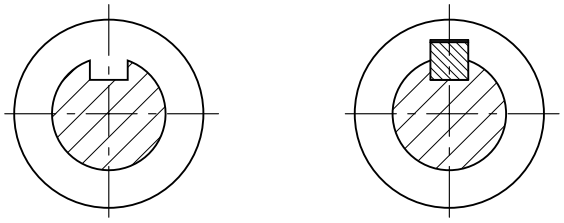


Bild (B911entZ) Geometrische Umkehr

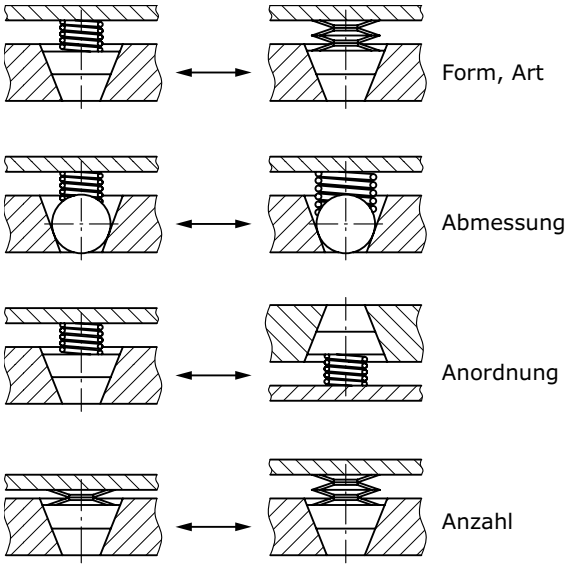


Bild (B912entZ) Wirkkörpervariation [3]

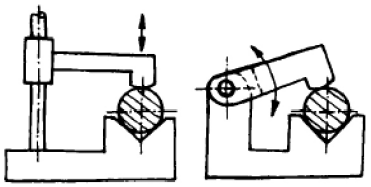
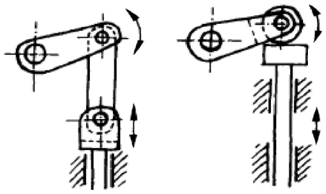
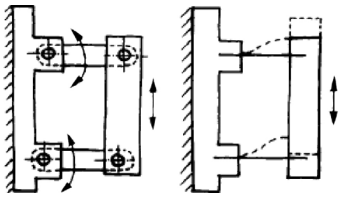
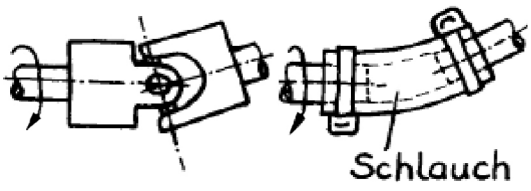
	Gelenkwechsel Translation ⇔ Rotation
	Gelenkwechsel 2 einwertige Gelenke ⇔ 1 zweiwertiges Gelenk
	Gelenkwechsel
	Starre Gelenke ⇔ elastische Gelenke

Tabelle (T001entZ) Wirkprinzipvariation [3]

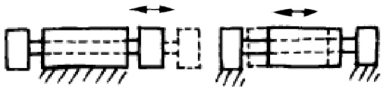
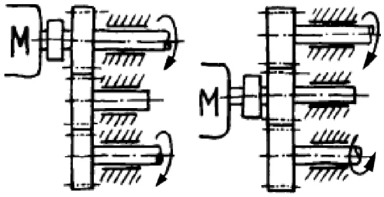
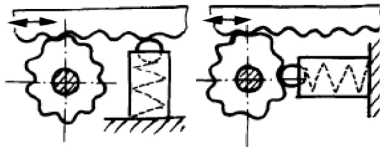
	Gestellwechsel
	An-Abtriebswechsel
	Wechsel der Kinematikkette

Tabelle (T002entZ) Kinematische Kette-Variation [3]

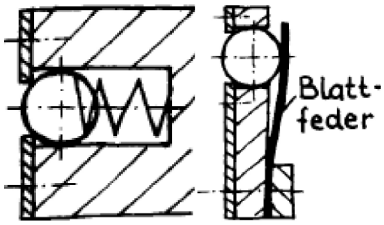
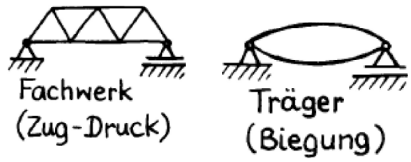
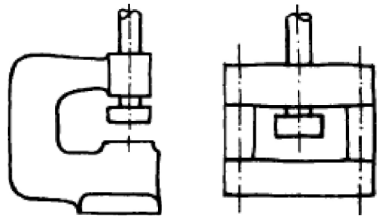
	Wechsel Feder-Prinzip
	Wechsel Tragwerk-Prinzip
	Asymmetrischer – symmetrischer Kraftfluss

Tabelle (T003entZ) Kraftflussvariation [3]

6.3. Analysieren und validieren

Simultan mit dem Generieren von Lösungen werden die Eigenschaften der Gestaltung quantifiziert (z. B. Durchmesser festlegen) und die Qualität der gefundenen Lösung überprüft (z. B. Berechnen, Prototyp bauen und testen)

Teilthemen dazu sind:

- berechnen, dimensionieren, simulieren und Kosten bestimmen,
- experimentieren, visualisieren und Rapid Prototyping,
- Schwachstellenanalyse und Fehlerpotential ermitteln und
- überprüfen der Lösungen in Bezug auf die Anforderungsliste (funktionell, wirtschaftlich, terminlich und ökologisch).

6.3.1. Berechnen, dimensionieren, simulieren und Kosten bestimmen

Viele Eigenschaften der Gestaltungsobjekte können nur durch Berechnungen festgelegt werden. So wird z. B. der Durchmesser eines Leitungsrohres durch die Fördermenge pro Zeit beeinflusst und der Durchmesser einer Welle durch das zu übertragende Drehmoment.

Um diese quantitativen Grössen festzulegen, wird Wissen und Erfahrung aus der Physik, der Mechanik, der Elektrotechnik, der Werkstoffkunde etc. eingesetzt.

Abhängig davon, wo wir uns im Gestaltungsprozess befinden, wird von Grobdimensionierung, Abschätzung oder Auslegung gesprochen. Ausgehend von den Anforderungen wird die Eigenschaft, wie z. B. der Durchmesser berechnet. Das zugrunde liegende Berechnungsmodell, die Annahme, als auch die Berechnungsmethode, sind in diesem Stadium noch grob und stark vereinfacht. Meist erfolgt diese Abschätzung von Hand bzw. mit dem Taschenrechner.

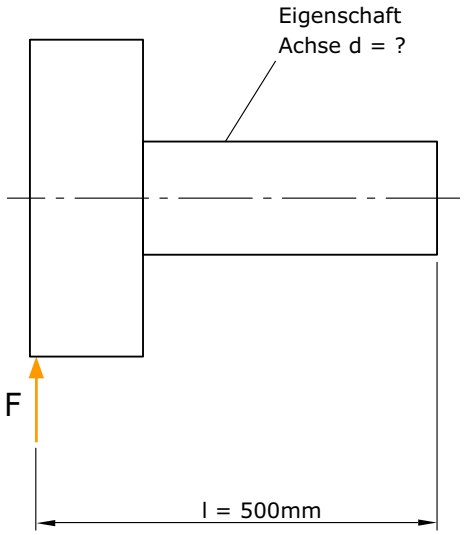


Bild (B069entZ) einfache Überschlagsrechnung für einen Wellendurchmesser

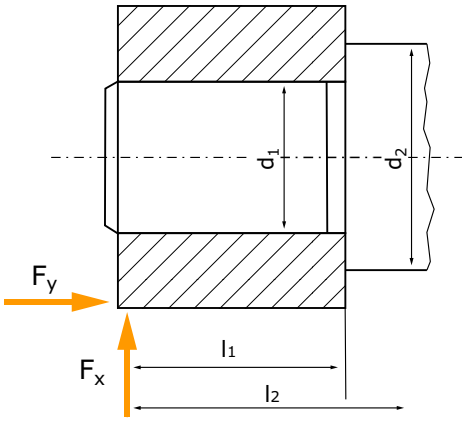
$$\sigma_v = \frac{M_B}{W_B} = \quad \leq \sigma_{zul} = \frac{\sigma_F}{S_F} \tag{1}$$

$\Rightarrow$ d = 22.8 mm

festgelegt d = 25 mm

In einer späteren Konkretisierungsphase, wenn schon weitere Eigenschaften festgelegt sind, werden die abgeschätzten Eigenschaften nachgerechnet, verifiziert und überprüft (auch Festigkeitsnachweis genannt) und z. B. Auswirkungen auf benachbarte Bauteile berechnet.

In diesem Stadium sind sowohl das Modell, als auch die Güte der Werte exakter und meist werden auch bessere Berechnungsverfahren eingesetzt. Die Berechnungen sind vielfach EDV-basiert, wofür verschiedenste Programme zu Verfügung stehen.



d_1, d_2 definitiv festlegen
Durchbiegung f = ...
Gestaltungsfestigkeit σ_A = ...
überprüfen

Bild (B068entZ) Verfeinerte Berechnung der Welle
nach Konkretisierung weiterer Gestaltseigenschaften

Falls schon CAD-Modelle vorliegen, können zur Festigkeitsberechnung auch schon FE-Programme (Finite-Elemente) eingesetzt werden.

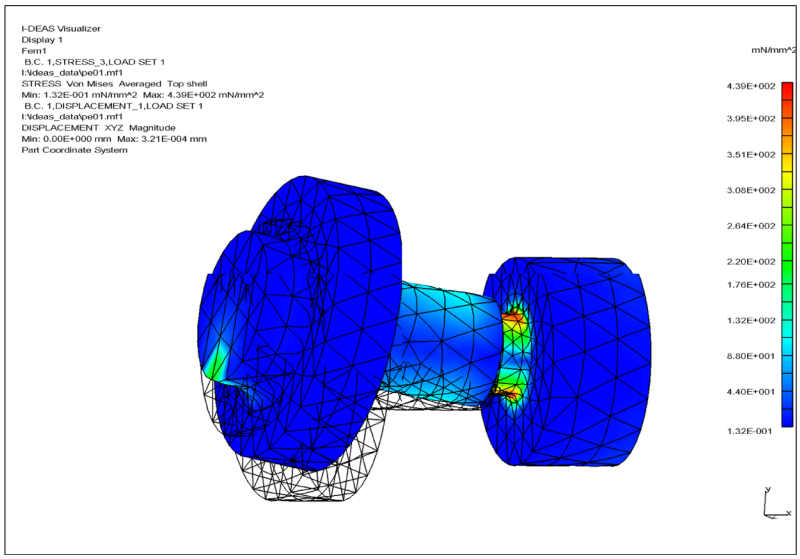


Bild (B200entZ) Rechneruntrstützte, detaillierte Deformations- und Spannungsanalyse mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (Modell mit ca. 14000 Freiheitsgraden: dargestellt ist die deformierte Struktur, Konturplot der Vergleichsspannungen, überlagert).

Mittels Berechnungen können auch Optimierungen von Gestalteigenschaften durchgeführt werden, indem – rechnerisch unterstützt – die Eigenschaften solange variiert werden, bis ein angestrebtes Optimum wie beispielsweise eine Gewichtsminimierung erreicht ist.

Mittels Simulation, beispielsweise der Bewegungsabläufe, können mögliche Kollisionen von Bauteilen erkannt werden oder aber weitere Informationen, z. B. über Kräfte im System, ermittelt werden.

Auch wirtschaftliche Berechnungen sind während des Entwerfens regelmässig notwendig. Die Herstellungskosten müssen kontinuierlich überprüft und mit den Anforderungen verglichen werden.

6.3.2. Experimentieren, visualisieren und Rapid Prototyping

Berechnen und simulieren reicht nicht in jedem Falle aus, die Güte eines Entwurfs zu verifizieren. Einerseits ist es möglich, dass die physikalischen Verhältnisse und Vernetzungen zu komplex sind, andererseits ist es aber auch möglich, dass die Eigenschaften durch Berechnung nicht überprüfbar sind (z. B. Erscheinungsbild, Ergonomie). In diesem Fall helfen ein Experiment, eine Visualisierung oder verschiedene Möglichkeiten des Rapid Prototyping.

Experimentieren

Schon im Konzeptprozess wurde die Güte des Konzeptes durch Machbarkeitsstudien verifiziert. Im Entwurfsprozess, auf einer höheren Konkretisierungsstufe, kann dies wiederum hilfreich sein, um komplexe Zusammenhänge zu prüfen.

Dabei kann z. B. ein kleiner Versuch aufgebaut werden, in welchem die einzelnen Prozessschritte der Lösung mit einfachen Mitteln aufgebaut und getestet werden.

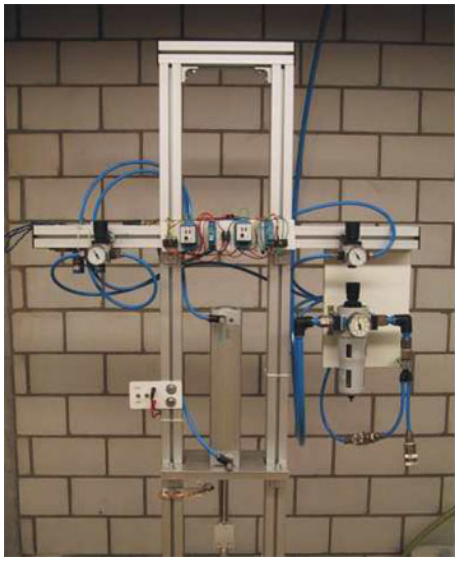


Bild (B024gesZ) Einfache pneumatische Testeinrichtung

Visualisieren

Das CAD selber, aber auch verschiedenste andere Visualisierungssoftware (3D StudioMax, Maia, Alias Wavefront) können schon in einem frühen Stadium helfen, Fragen der Anordnung und der Erscheinung (Formgebung, Farben etc.) realitätsnah zu beantworten. Dazu ist es nicht notwendig, das Produkt exakt zu modellieren, sondern nur soweit wie für die Verifizierung nötig.

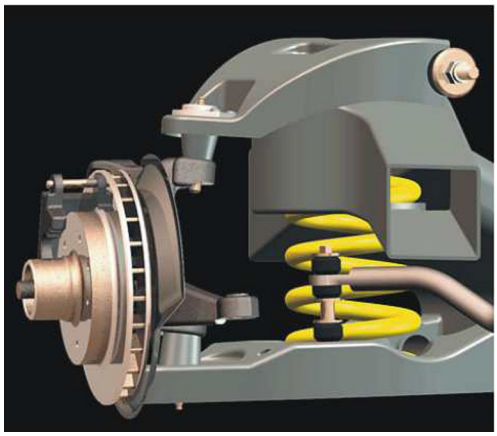


Bild (B025gesZ) Geometrische Studie mit Hilfe eines flächenbasierten Modells

Mit geeigneter Hardware ist es auch möglich, diese Modelle im virtuellen Raum zu begehen und zu beurteilen.

Bild (B065gesZ) Visualisierung eines virtuellen Prototypen

Rapid-Prototyping

Zu den verschiedensten Zeitpunkten im Entwurfsprozess ist es nützlich, die Objekte nicht nur digital (siehe Visualisieren), sondern auch real vor sich zu haben. Verschiedenste Möglichkeiten stehen dem Entwicklungsteam zur Verfügung, um aus Karton, Styropor, Holz etc. ein Modell herzustellen und zu überprüfen.

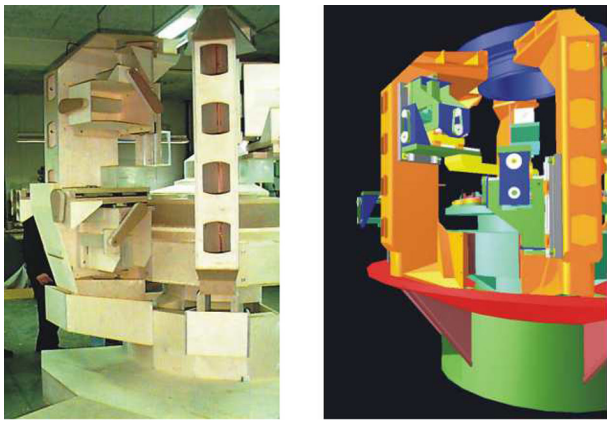


Bild (B066gesZ) Realer und virtueller Prototyp – Holzmodell und Rechnersimulation

Eine Vielzahl von Verfahren, die in den letzten Jahren entwickelt und unter dem Namen Rapid Prototyping (RP) zusammengefasst wurden,

ermöglichen es, ein reales Objekt in relativ kurzer Zeit (einige Stunden bis einige Tage) direkt vom CAD-Modell über die STL-Modell-Beschreibung (spezielles Export Datenformat) herzustellen.

Die meisten dieser Verfahren basieren auf einem additiven Konzept, indem Material Schicht um Schicht aufgebaut wird. Die Wahl des Materials (meist Kunststoffe) ist heute noch eingeschränkt, erweitert sich aber laufend.

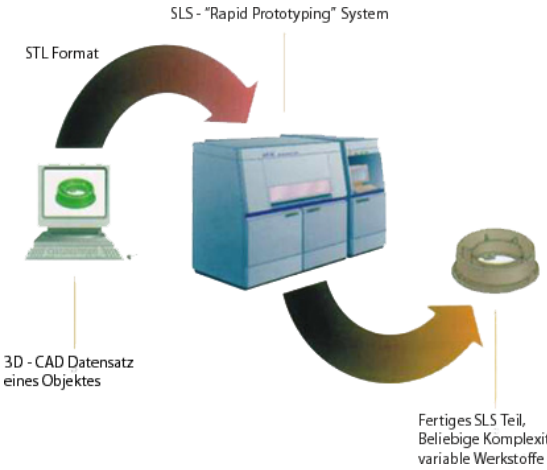


Bild (B067gesZ) Beispiel eines Fertigungsverfahrens des Rapid Prototyping (Quelle FH St. Gallen)

Die Verwendung dieser im RP-Verfahren hergestellten Teile ist vielfältig:

- Design-Modell: Formgebung, Handlichkeit, Farbe etc. werden verifiziert.
- Funktions-Modell: Einzelne Funktionen des Produktes können in einem frühen Stadium getestet werden (z. B. Schnappmechanismus eines Gehäuses).
- Prototypen: Die einzelnen Teile, teilweise durch RP-Verfahren hergestellt, werden montiert und das Gesamtprodukt wird geprüft. Solche Prototypen können sogar schon bei ausgewählten Kunden (Key-Customer) zum Einsatz kommen.

6.3.3. Schwachstellenanalyse, Fehlerpotential ermitteln

Zu jedem Zeitpunkt während des Gestaltens wird die Lösung auf Schwachstellen oder Fehlerpotentiale hin überprüft. Vor dem „inneren Auge“ geht man eine Unmenge von Fragen automatisch durch, wie:

- Ist das Teil herstellbar, montierbar, ... (siehe „design for x“-Richtlinien)?
- Was sind die möglichen Belastungsarten (blockieren des Getriebes, Sturmböen, fallen lassen etc.)? Hält es diese aus?
- Was passiert bei falscher Bedienung (siehe Grundregeln)?
- Etc.

Es lohnt sich, ergänzend zu dieser permanenten, unbewussten Überprüfung (durch Erfahrung), eine systematische Schwachstellenanalyse an klar definierten Entwurfsprozess-Zeitpunkten vorzunehmen.

Folgende Methoden können dazu eingesetzt werden:

Fehlerbaumanalyse

In der Fehlerbaumanalyse werden mögliche, ev. unerwünschte Ereignisse (z. B. klemmende Lagerung) gesucht, einzeln näher betrachtet und ihre Ursache wird eruiert. Um zur grundlegenden Ur-Ursache zu gelangen, müssen teilweise mehrere Ursachen-Wirkungsstufen durchlaufen werden. Es gilt immer die Fragestellung:

- Was ist die Ursache (Ursachen) für das Ereignis?
  - Ursache 1, 2, 3, ...
- Was ist die nächst tiefere Ursache?
  - Ursache1.1, 1.2, ...

Auf tiefster Stufe wird versucht, durch verbesserte Gestaltung diese Ursache zu eliminieren.

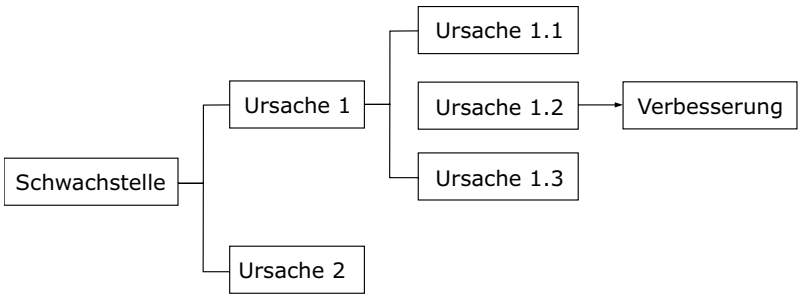
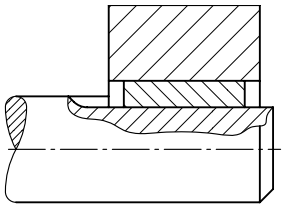


Bild (B026gesZ) Fehlerbaumanalyse

Beispiel:



Schwachstelle:
- Passfeder versagt
  - Ursache: zu klein dimensioniert
    - Ursache: falsche Lastenannahme (Anfahrmoment hoch)

- nicht optimale Verbesserung → grössere Dimensionierung
- optimale Verbesserung → Reduktion der Anfahrmomente durch Kupplung

Bild (B065entZ) Passfeder

FMEA

Eine noch systematischere Methode ist die FMEA-Methode. Auf der Basis der Fehlerbaumanalyse werden die Ursachen, die Auswirkung und die Erkennbarkeit der Schwachstelle bewertet und Verbesserungsmassnahmen festgelegt.

Bild (B032konZ) Durchführung einer FMEA [Scintilla]

Gespräche, Diskussion

„Mehr Augen sehen mehr!“ Immer lohnt es sich, Entwürfe mit erfahrenen Kollegen oder Mitarbeitern aus der Fertigung, bzw. Montage, kritisch zu diskutieren und gemeinsam Fehlerpotentiale zu finden.

6.3.4. Überprüfen der Lösungen in Bezug auf die Anforderungsliste

Selbstverständlich, aber trotzdem wichtig genug, hier nochmals erwähnt zu werden, ist die stetige Validierung der Lösung in Bezug auf die Anforderungsliste.

Erfüllt die Lösung die Forderungen aus dem Anforderungskatalog vollständig?

Entsprechend werden schon in frühen Phasen Lösungen verworfen, welche in dieser Frage versagen.

6.4. Bewerten und entscheiden

Das Bewerten und Entscheiden kleiner Teilschritte findet während des Gestaltens zusammen mit dem Analysieren permanent statt.

Anlässlich grösserer Zwischenetappen oder beim Abschluss des Entwurfsprozesses liegen meist mehrere Lösungsalternativen vor, die systematisch beurteilt werden müssen um die beste Lösung auszuwählen (entscheiden).

Als Basis der Beurteilung dient selbstverständlich wieder die Anforderungsliste. Wie bei der Beurteilung im Rahmen des Konzeptprozesses, können weitere Kriterien wie Risiko-Abschätzung, Kundenakzeptanz etc. hinzugezogen werden.

Jede Bewertung ist subjektiv. Beurteilende Personen sehen unterschiedliche Schwerpunkte in den Kriterien. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn eigene bevorzugte Lösungen dem Beurteiler nahe stehen (not-invented-here-syndrom). Deshalb ist es sehr wichtig, die Gewichtung der Kriterien gemeinsam vor dem Bewerten festzulegen.

Methoden, die sich zur systematischen Bewertung eignen, sind:

- Nutzwertanalyse,
- Paarvergleich,
- Conjoint-Analyse und
- Benchmarking.

Zur Visualisierung der Qualität der Lösungen können z. B. Fieberkurven oder Matrix-Darstellungen eingesetzt werden.

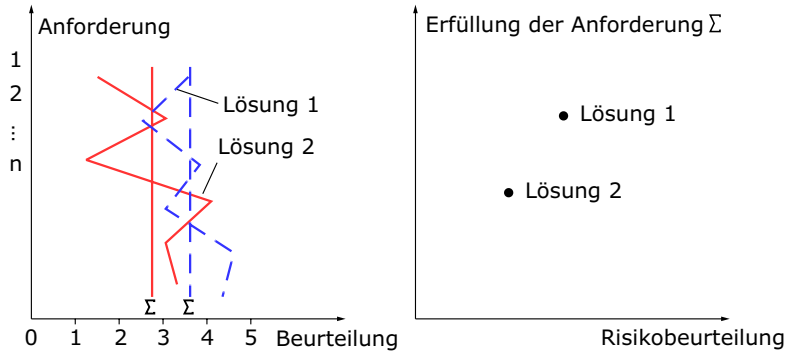


Bild (B027gesZ) Beispiel von Bewertungsdarstellungen. Links: Fieberkurve der Erfüllung der Anforderungen, rechts: 2-dimensionale Darstellung der gesamthaften Erfüllung der Anforderungen in Bezug auf das Risiko.

Eine Bewertung und Entscheidung ist umso bedeutender,

- je grösser die Konsequenz der Entscheidung ist,
- je weniger das Ergebnis später korrigiert werden kann.

Weniger bedeutend ist sie, wenn

- die Konsequenz klein ist,
- eine spätere Korrektur möglich ist (Joker im Sack!),
- eine Lösung sich eindeutig abhebt,
- die Alternativen sich nur marginal unterscheiden.

Die Grundlage einer korrekten und aussagekräftigen Bewertung und Entscheidung liegt in der fundierten Informationsbasis und den Validierungsergebnissen.

Merke: Eine Beurteilung und ein Entscheid sind nur so gut, wie ihre Informations- und Validierungsbasis.

Es ist aber ebenso klar, dass jede Bewertung mit einem gewissen Anteil von Unsicherheiten behaftet ist. Die Konkretisierungsstufe des Produktes hat bei weitem noch nicht die Höhe, um alle Fragen zu beantworten. Mit diesem Restrisiko in der Entscheidung leben Entwickler ständig.

7. Regeln, Prinzipien und Richtlinien des Gestaltens

Entwürfe hoher Güte zeichnen sich dadurch aus, dass sie anerkannte Regeln, Prinzipien und Richtlinien des Gestaltens berücksichtigen und diesen entsprechen. Diese Empfehlungen wurden über Jahre gesammelt, in eine strukturierte Form gebracht und liegen dem Entwickler nun als Kompass vor.

In einem ersten groben Überblick sind dies

- Einhalten von Regeln bedeutet, dass die Konstruktion
  - einfach,
  - eindeutig und
  - sicher ist.
- Prinzipien sind berücksichtigt, wenn vertieft Gedanken und Optimierungen in Bezug auf
  - Kraftfluss in der Konstruktion,
  - Funktionsvereinigung, -auftrennung und Integral-, Differentialbauweise durchgeführt wurden.
- Die Richtlinien umfassen alle zu erfüllenden Kriterien der „Gerechtheiten" bzw. der „design for x", wie
  - fertigungsgerecht,
  - montagegerecht,
  - korrosionsgerecht,
  - belastungsgerecht,
  - normgerecht
  - etc.

7.1. Regeln des Gestaltens

Die übergeordneten Grundregeln der Konstruktion sind in den Begriffen eindeutig, einfach und sicher zusammengefasst.

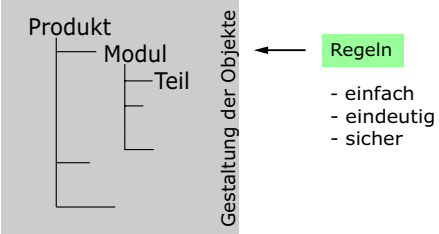


Bild (B913entZ) Regeln des Gestaltens im Überblick

7.1.1. Eindeutige Konstruktion

Eine wesentliche Anforderung an eine Konstruktion ist die Eindeutigkeit. Was damit gemeint ist, soll anhand von folgenden Beispielen gezeigt werden:

- Statische Bestimmtheit

  Die Kräfteverteilung in den Beinen eines Dreibein-Stuhls ist eindeutig. Mit der Methode der statischen Kräftebestimmung können die Einzelkräfte der Beine berechnet werden. Mit diesen eindeutigen Kräften können die Querschnitte eindeutig dimensioniert werden. Bei einem Vierbein-Stuhl ist die Kraft nicht mehr eindeutig, das System ist statisch überbestimmt. Damit wird es auch schwieriger, die Querschnitte optimal zu dimensionieren. Es muss die Annahme getroffen werden, dass nur drei Beine den Stuhl tragen.

  In die Thematik der Eindeutigkeit fallen auch die Lösungsprinzipien der Wellenlagerung. Eine Welle, welche durch zwei Festlager (Lager nimmt radiale und axiale Kräfte auf (Lagerkräfte)) gelagert wird (Bild B028gesZ), ist überbestimmt, weil die Verteilung der axialen Kräfte (z. B. bei Wärmeausdehnung der Welle) auf die beiden Lager unbestimmt ist. Der Lösungsweg durch die Kombination Fest-Los-Lager (Loslager nimmt nur radiale Kräfte auf) verschafft die Eindeutigkeit der Lastaufnahme.

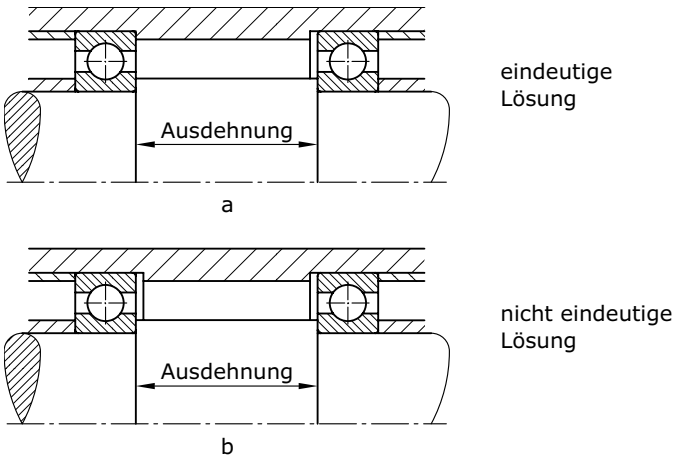


Bild (B028gesZ) a: Kombination Fest-Los-Lager, b: Kombination Fest-Fest-Lager (aus Pahl+Beitz).

Zum Beispiel im Bild B028gesZ: Bei Fertigungstoleranzen oder Längenänderungen durch Erwärmung ergeben sich axiale

Kräfte, welche in der Lösung a eindeutig vom linken Lager übernommen werden. [2]

- Material Handling
  Innerhalb des „Material Handlings“ (Handhabung von Bauteilen in der Automation) ist es in der Lösungsfindung immer wieder verlockend, das Teil von einer Position abzuwerfen und im freien Fall in eine zweite Position zu bringen. Beispielsweise können Bleche, fertig gestellt in einer Maschine, auf einen Stapel abgeworfen werden. Die Flugbahn des Teiles ist jedoch nie eindeutig, es kann in Schräglage gelangen, „abschmieren“, beim Landen verrutschen usw.
  Eindeutig ist nur, wenn das Teil in der Position 1 durch ein weiteres Transportmittel definiert übernommen und eindeutig geführt zu Position 2 transportiert wird.

Merke: Eindeutig beschreibbare Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung anstreben.

- Schraubensicherungen:
  Eine Verschraubung kann sich z. B. durch Schläge oder Vibration lockern und lösen. Das Verbleiben in der angezogenen Position ist nicht eindeutig. Dieses Beispiel hat auch einen Anspruch auf „sicher“.

Eindeutig sollen aber auch alle erarbeiteten Dokumente sein:

- Bedienungsanleitung,
- Fabrikations-, Montage- und Prüfunterlagen, wie Zeichnungen, Toleranzen, Stücklisten usw.

Frappant erkennt man hier die Diskrepanz zwischen der Anforderung nach Eindeutigkeit und der realisierten Wirklichkeit. Trotzdem existieren in der Praxis Abweicungen von dieser Grundregel, beispielsweise:

- Es gibt mehrheitlich Stühle mit 4 Beinen (was auf die bessere Stabilität der Stühle zurück zu führen ist). Die Elastizität der Füsse gleicht die Kräfte aus.
- Es existieren gut funktionierende Lösungen mit Fallbewegungen (die Lösung ist viel kostengünstiger).

Das Streben nach Eindeutigkeit erhöht jedoch die Chance, z. B.

- optimal dimensionierte (minimale Grösse und minimales Gewicht) Teile zu erhalten (statische Bestimmtheit),
- viele nachträgliche Verbesserungen zu vermeiden (z. B. Begrenzungsführungen bei freiem Fall) und
- Rückfragen zu minimieren (nicht eindeutige Zeichnungsunterlagen).

Also genügend wichtige Gründe, die Eindeutigkeit wo immer sinnvoll, anzustreben. Eine Checkliste hilft bei der Überprüfung.

7.1.2. Einfache Konstruktion

Stehen wir nicht immer wieder verblüfft vor einem überraschend einfach gestalteten Produkt? Einfach bezogen auf Funktionalität, Bedienung, Störungsfreiheit, Wartung, und günstige Herstellung etc.

Der Fachbegriff „einfach" ist eine weitere Grundregel einer Konstruktion. Unsere heutigen technischen Produkte sind technologisch meist komplex. Deshalb ist diesem Begriff spezielle Beachtung zu schenken. Es ist erschwerend, wenn zu dieser technologischen Komplexität auch noch unnötige Schwierigkeiten beim Montieren, Bedienen usw. hineinkonstruiert sind. Einfachheit hat viele Facetten:

- Ein Produkt mit vielen Funktionen, die klar und übersichtlich zugeordnet sind und einfachen Gesetzmässigkeiten unterliegen - das definiert „einfach".
- Oft zeigt sich, dass einfache Lösungen auch weniger Teile benötigen. Das zieht gleichzeitig weniger Logistik- und Montageaufwand nach sich.
- Die einzelnen Bauteile sollen auch so ausgelegt sein, dass sie mit wenig Operationen und wenig Rüstaufwand „einfach" herstellbar sind.
- Ihre Formen sind, falls möglich, so zu wählen, dass Festigkeitsberechnungen „einfach" durchführbar sind.
- Die Binsenwahrheit „Erfinde das Rad nicht ein zweites Mal!" gehört auch an diese Stelle. Einfachheit wird häufig erreicht, indem bereits auf dem Markt erhältliche Komponenten eingesetzt werden und nicht partout neue Lösungen erzwungen werden. Existente Lösungen sind erprobt und ergeben weniger Probleme und sind unter dem Strich meist auch günstiger.
- Auch bei der Montage des Produktes ist diese Forderung einzuhalten, d. h. die Montage soll einfach und kostengünstig sein, die Einstellungen einmalig und mit wenig Aufwand verbunden und die Anweisungen für die Prüfung übersichtlich.
- Häufig werden Maschinen und Anlagen ab Bedienkonsole bedient, deren Monitore schönste graphische Oberflächen haben. Dies ist nur dann sinnvoll, wenn die Bedienvorgänge einfach, übersichtlich und an das Verständnis des Bedieners bzw. der Bedienerin angepasst sind. Alles was darüber hinausgeht erschwert die Bedienbarkeit und das Verständnis.
- Gelangen wir an das Ende des Produkt-Lebenszyklus. Auch für die abschliessende Demontage, die Entsorgung und das Recycling muss auf Einfachheit und damit niedrige Kosten geachtet werden.

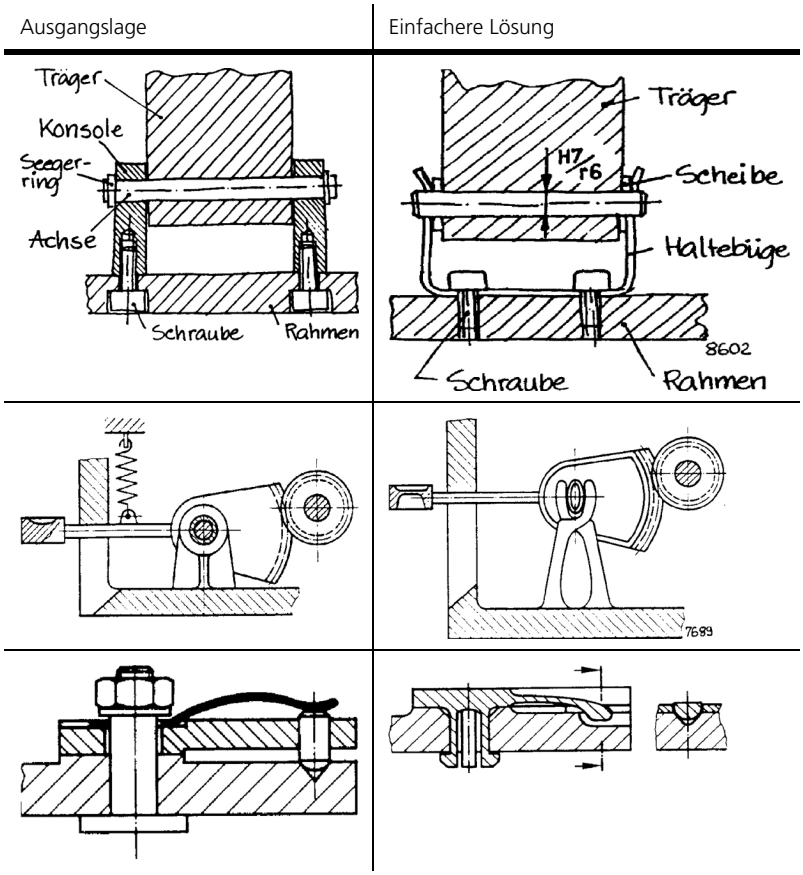


Tabelle (T004entZ) Unterschiedliche Beispiele von Vereinfachungen in der Gestaltung. Oben: Schwenkverbindung aus einfacher Blechkonstruktion; Mitte: Klingel für Kindertelefon mit einfachem Lagerungs- und Federmechanismus. Unten: einfacher Niederhalte-Mechanismus durch ein Kunststoffteil [3]

7.1.3. Sichere Konstruktion

Der Aspekt der Sicherheit ist vielschichtig und äusserst komplex, aber auch von höchster Wichtigkeit. Das Thema logisch zu gliedern und in die entsprechenden Kapitel abgegrenzt zu verteilen, ist schwierig. Der Aspekt der Sicherheit begleitet die Entwickler während dem ganzen Prozess.

Um es vorweg zu nehmen, Sitzungen zum Thema der Sicherheit gestalten sich häufig endlos. Der Grund dazu ist einfach - es gibt keine absolute Sicherheit. Um den Sicherheitsanforderungen annähernd gerecht zu werden, müssen mehr oder weniger wahrscheinliche Szenarien „erdacht“ werden, für die entsprechende konstruktive Massnahmen getroffen werden. Es ist und bleibt dem Konstrukteur,

bzw. dem Entwicklungsteam, die anspruchsvolle Aufgabe überlassen, mit Verantwortung, aber auch gesundem Menschenverstand, die Lösung auf ein Minimum aller Risiken auszurichten. Hierher gehört auch der Begriff des Grenzrisikos:

Definition: Das Grenzrisiko stellt das grösste, nach zeitgemässem Verständnis noch vertretbare Risiko eines technischen Vorganges oder Zustandes dar.

Die Abschätzung dieses Risikos erfolgt immer über die zwei Koordinaten:

- Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts?
- Wie gross ist der voraussichtliche Schadensumfang?

Gliederung des Sicherheitsaspektes

Zur Erhaltung des Überblicks über die Gesamtthematik soll hier eine logische Gliederung des Sicherheitsaspektes durchgeführt werden:

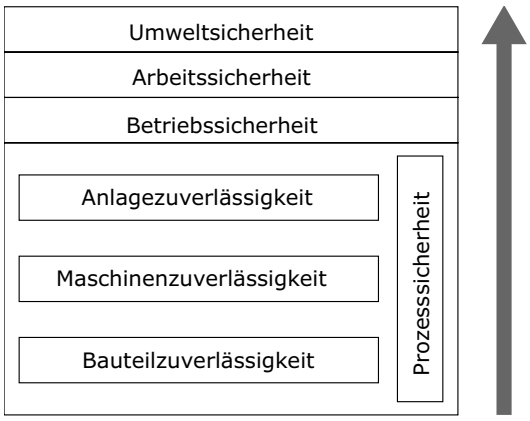


Bild (B029gesZ) Gliederung des Sicherheitsaspektes

Definition: Zuverlässigkeit ist die Fähigkeit des Systems, die definierten Anforderungen zu erfüllen.

- Bauteilzuverlässigkeit:
  Unter den Begriff Bauteilzuverlässigkeit fallen die richtige Formgebung, sichere Auslegung und Dimensionierung, sowie die richtige Auswahl des Materials in verschiedenster Hinsicht, wie Festigkeit, Korrosion, Kriechen, Alterung usw., mit dem Ziel, die erforderte Lebensdauer für das Bauteil unter den festgelegten Betriebsbedingungen sicher zu stellen.
- Maschinenzuverlässigkeit:

Sicheres Zusammenwirken aller Bauteile und Komponenten in Bezug auf die geforderten Leistungen und die erwartete Zuverlässigkeit während der gesamten Lebensdauer.

- Anlagenzuverlässigkeit:
  Sicheres Zusammenwirken der verschiedenen Maschinen, Vorrichtungen und peripheren Komponenten, wie z. B. den Robotern während der gesamten Lebensdauer.

Überlagert zu den drei beschriebenen Zuverlässigkeitskategorien liegt die

- Prozesssicherheit:
  Die Beherrschung des Prozesses innerhalb der Leistungsgrenzen bildet den Sicherheitssockel für jede Maschine. Ausgiebige Grundlagenversuche, nicht nur unter Labor-Bedingungen, sondern mit realen äusseren Gegebenheiten, müssen einen stabilen Prozess aufzeigen. Physikalisch ausgedrückt muss die Wirkkette bekannt sein und der Einfluss der Randbedingungen sowie der Störgrössen beherrscht werden.

Die Basiszuverlässigkeiten ergeben dann folgerichtig die:

- Betriebssicherheit:
  Verminderung des Schadenrisikos für die Einrichtung selbst, wie auch für die unmittelbare Umgebung.
- Arbeitssicherheit:
  Verminderung des Unfallrisikos für den Menschen bei der Benutzung der Maschine oder im unmittelbaren Umfeld (Nahbereich).
- Umweltsicherheit:
  Verminderung des Schadenrisikos für die gesamte Umwelt (Fernbereich).

Die Massnahmen zum Erreichen der geforderten Sicherheit können gegliedert werden in

- unmittelbare,
- mittelbare und
- hinweisende Sicherheit.

Definition: Sicherheit insgesamt ist die angestrebte Sachlage, bei der das Risiko des Vorganges oder Zustandes kleiner als das Grenzrisiko ist.

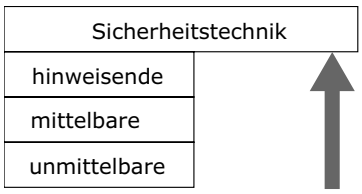


Bild (B030gesZ) Hierarchie der Sicherheitstechnik

Für den Entwickler hat diese Gliederung auch hierarchischen Charakter. Er muss der unmittelbaren Sicherheit erste Priorität einräumen.

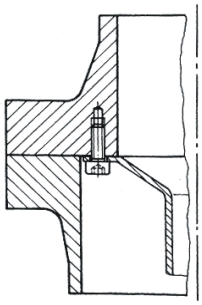
Unmittelbare Sicherheit

Für die unmittelbare Sicherheit müssen die Produkte so gestaltet sein, dass keine Gefährdung entstehen kann (direkte Sicherheit durch geeignete Gestaltung in das Produkt konstruiert). Unmittelbare Sicherheit wird weiter gegliedert in:

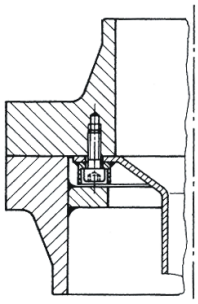
- Sicheres Bestehen:
  Die Bauteile und deren Zusammenhang sind so zu gestalten, dass alle wahrscheinlichen Zustände ohne Versagen überstanden werden (safe-life). Dies erfolgt durch:
  - Klärung der Belastung (Art, Grösse, Dauer),
  - Klärung aller möglichen ausserordentlichen Einflüsse und Zustände (Methode: z. B. FMEA),
  - Auslegung der Teile und Baugruppen nach bewährten Hypothesen und Verfahren (Literatur- und Normenstudien) und
  - Erstellung von Funktionsmuster und Messaufbauten.
- Beschränktes Versagen:
  Die Bauteile und deren Zusammenhang sind so zu gestalten, dass bei Versagen keine schwerwiegenden Folgen auftreten (fail-safe). Dies erfolgt durch:
  - frühzeitige Erkennbarkeit des Schadenseintrittes,
  - langsamer, gestützter Schadensverlauf und
  - Reproduzierbarkeit des Schadenseintrittes
- Redundanz:
  Die Bauteile und deren Zusammenhang sind so zu gestalten, dass bei Versagen die Funktion von anderen Bauteilen oder -gruppen übernommen wird. Dies erfolgt durch:
  - aktive Redundanz, wie z. B. gespiegelte Festplatten oder mehrere kleinere Energieaggregate anstelle eines grossen Systems,

- passive Redundanz, wie z. B. externe Backup-Laufwerke oder Notstromaggregate und
- parallele oder serielle Anordnung der redundanten Systeme.

Konstruktionsbeispiel



unsichere Konstruktion



unmittelbare Sicherheit
durch passive, serielle Redundanz

Bild (B031gesZ) Einfaches Beispiel [2]:
Das innere dünnere Rohrteil soll sich nicht vollständig vom Gesamtsystem lösen können.

Mittelbare Sicherheit

Erst in zweiter Priorität ist die mittelbare Sicherheit, welche z. B. mit Abschrankungen, Türen oder Lichtschranken vorhandene Risikobereiche schützt, anzuwenden,.

Definition: Schutzsysteme (aktiv, wie z. B. Lichtschranken) und Schutzeinrichtungen (passiv, wie z. B. ein Zaun) sind mittelbare Massnahmen, welche die notwendigen Sicherheiten ergeben, wo unmittelbare Techniken den erforderlichen Schutz ungenügend erfüllen.

Beispiele: Airbag, Überdruckventil, Schutzräume.

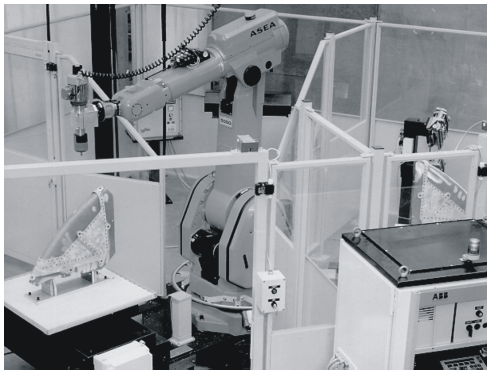


Bild (B033gesZ) Mittelbare Sicherheitstechnik: Schutzzaun um Roboterzelle

Mittelbare Sicherheiten müssen so gestaltet werden, dass sie zuverlässig, zwangsläufig und unumgehbar sind.

Hinweisende Sicherheit

Falls beide Möglichkeiten nicht realisierbar sind oder aber das Risiko verantwortbar klein ist, können, wie häufig angewendet, hinweisende Sicherheitsmassnahmen getroffen werden (hinweisende Sicherheit).

Letzteres gilt auch, wenn für die Möglichkeiten der unmittelbaren und mittelbaren Sicherheit unverantwortbar hohe Kosten (Aufwendungen) bei abschätzbar geringem Risiko entstehen.

Definition: Schutz ist die Verringerung der Schadens-Eintrittshäufigkeit oder des resultierenden Schadensumfanges.

Beispiele: Warnschilder, Hinweisschilder und Hinweise innerhalb von Betriebs- und Wartungsanweisungen.

Bild (B032gesZ) Hinweisendes Warnschild

Fassen wir zusammen: Bei jedem Konstruktionsschritt und -entscheid muss die Lösung in Bezug auf

- Funktion und Wirkungsprinzip,
- Auslegung und Dimensionierung,
- Fertigung und Kontrolle,
- Montierbarkeit, Prüfbarkeit und Demontierbarkeit,
- Ergonomie, Bedienbarkeit und Unterhalt,
- etc.

überprüft werden. Man untersucht inwiefern sie

- eindeutig (gibt es eindeutigere Lösungen?),
- einfach (existieren einfachere Lösungen?) oder
- sicher (wurden alle Aspekte bedacht?) ist.

Diese Überlegungen begleiten uns, parallel im Kopf ablaufend, während jedes Teilschritts der Gestaltung.

7.2. Prinzipien des Gestaltens

Gestaltungs-Prinzipien sind bewährte Strategien, welche zu einer hochwertigen Lösung führen. Hochwertig im vorliegenden Sinne bedeutet u.a.

- bessere Funktionserfüllung,
- minimale Herstellkosten durch weniger Teile oder kleinere Bauart,
- minimaler Platzbedarf und kleines Gewicht,
- höhere Zuverlässigkeit und unmittelbare Sicherheit,
- etc.

Eine mögliche Gliederung von Prinzipien erfolgt in:

- Prinzipien der Funktionsvereinigung, -Auftrennung,
- Prinzipien der Bauteilvereinigung, -Auftrennung (Integral-, Differentialbauweise),
- Prinzipien der Kraftleitung und
- Prinzipien der Selbsthilfe.

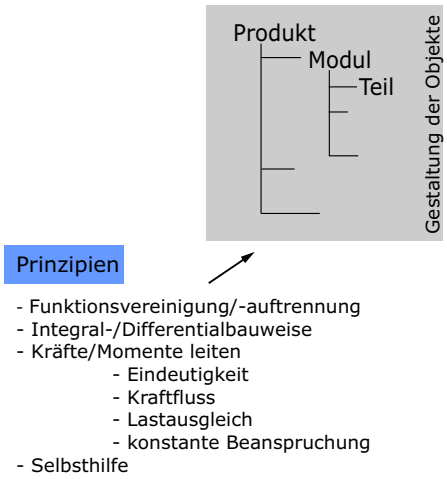


Bild (B914entZ) Prinzipien des Gestaltens im Überblick

7.2.1. Funktionsvereinigung, Funktionstrennung

Die Mehrheit von Geräten, Vorrichtungen oder allg. Produkten muss viele Funktionen erfüllen. Betrachten wir z. B. ein Fahrrad. Dieses muss grundsätzlich fahren, aber auch antreibbar, bremsbar, beleuchtbar etc. sein. Dem Konstrukteur stellt sich nun die Frage, wieweit verschiedene Funktionen in einem Funktionsträger zu vereinen (Funktionsvereinigung) oder klar in einzelne Funktionsträger aufzutrennen (Funktionstrennung) sind. Bevor dazu die Vor- und Nachteile behandelt werden, hier einige Beispiele:

- Bedienhebel im Auto:
  Viele Fahrzeuge haben Bedienhebel, welche viele Funktionen vereinen:
  - Licht: Abblendlicht, Fernlicht (Impuls, permanent)
  - Blinker
  - Tempomat
- Halogenlampen:
  Heutige Leuchtkörper erfüllen einige Funktionen mehr als früher:
  - Tragen
  - Strom leiten
  - Höhe verstellen

  Ein entsprechendes Beispiel sehen wir im folgenden Bild: rechts eine moderne 12V-Halogenlampe, bei welcher die Aufhängung das Gewicht, die flexible Höheneinstellung und die Stromübertragung übernimmt; links eine ältere Beleuchtung, wo die Funktionen Tragen und Stromleiten getrennt sind.

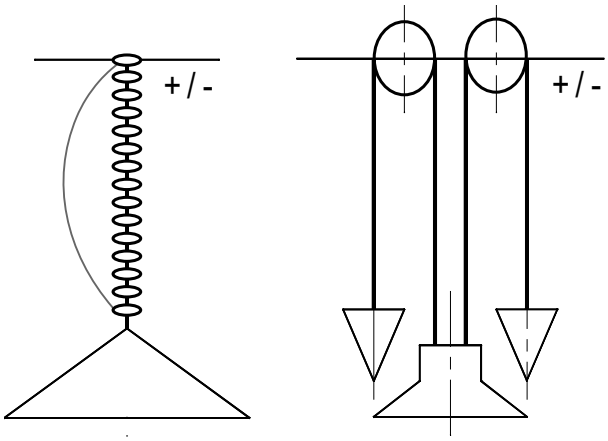


Bild (B034gesZ) Beispiel von Funktionsvereinigung (tragen, leiten, verstellen), links getrennt, rechts vereint

- Zahnriemen:
  Die Umsetzung einer Rotationsbewegung von einer Welle zu einer nächsten kann durch z. B. durch Zahnräder, Ketten, flexible Wellen, aber auch Zahnriemen erfolgen:
  Heutige Zahnriemen übernehmen gegebenenfalls mehrere Funktionen:

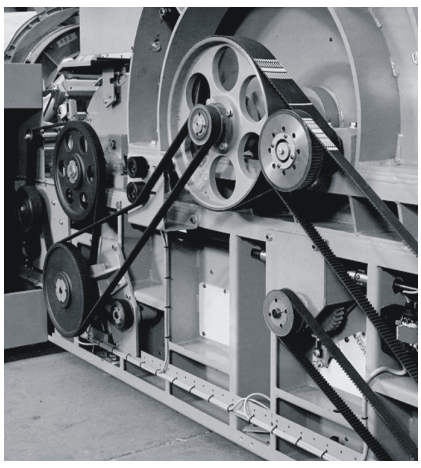


Bild (B035gesZ) Einsatz von Zahnriemens (Uiker)

Der Riemen kann die Antriebskräfte mittels Stahl- und Aramidfasern, die im Polyurethan eingelegt sind, übertragen. Das Rie-

menmaterial ist sehr biegsam, so dass der Riemen auch räumlich beschränkt die Funktion des Verdrehens übernimmt.

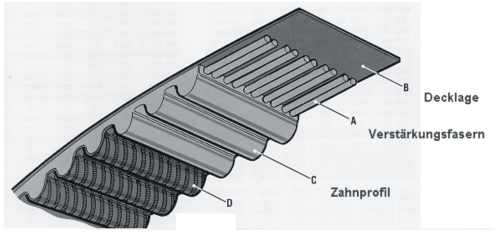


Bild (B036gesZ) Aufbau eines verstärkten Zahnriemen (Uiker)

Dieses für den Maschinenbau sehr nützliche Maschinenelement kann u. U. noch weitere Transportfunktionen übernehmen. So können, meist an der glatten Fläche, noch Mitnehmer beliebiger Formgebung integriert werden.

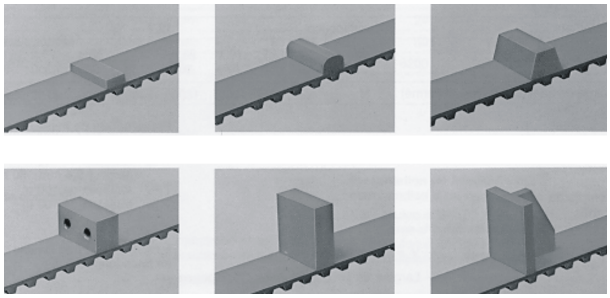


Bild (B037gesZ) Zusätzliche Funktionsvereinigung durch integrierte Mitnehmer (Uiker)

- Alu-Profil:
  Dass Funktionsvereinigung gut überlegtes Vorgehen der Konstruierenden ist, zeigt folgendes Beispiel:
  Maschinengestelle, ob aus geschweissten Profilen oder aus Alu-Profilen (wie hier im Bild gezeigt), können nicht nur als Gestelle eine tragende Funktion übernehmen, sondern auch als Hohlkanäle zum Führen von Leitungen verwendet werden. Es gibt Lösungen, bei welchen diese Hohlräume sogar ohne zusätzliche Rohre als Druckluftleitung oder als Druckspeicher eingesetzt wurden. Eine weitere Funktion übernehmen die Nuten in den Alu-Profilen zum Befestigen weiterer Bauteile.

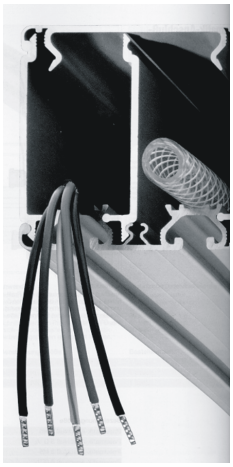


Bild (B038gesZ) Funktionsvereinigung durch Integration von Leitungen in ein Gestell-Profil (Item)

- Anlaufkupplung:
  Das Übertragen der Motorleistung auf die Abtriebswelle erfolgt vorteilhaft erst beim Erreichen der Nenndrehzahl des Motors. Dadurch kann der Motor schwächer ausgelegt werden, weil er beim Hochfahren das Moment aufbauen kann, bevor die Schwungmasse angehängt wird. Eine mögliche Kupplung, welche die Funktionen:
  - Drehmomentübertragen bei höherer Drehzahl und
  - gummielastischer Ausgleich für nicht exakt fluchtende Wellenachsen

  gewährleistet, ist die dargestellte elastische Anlaufkupplung.

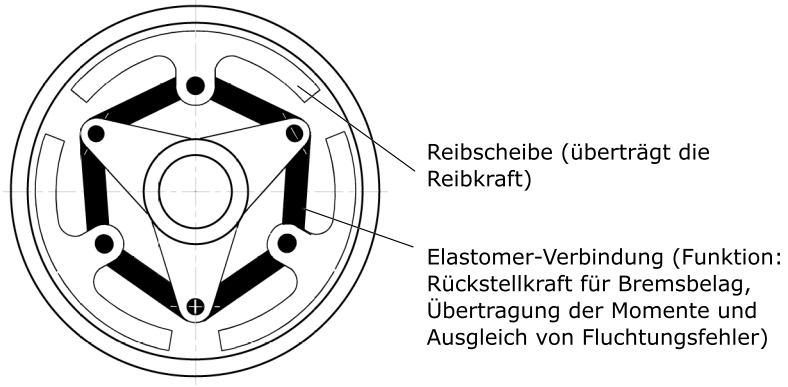


Bild (B039gesZ) Prinzip einer Anlaufkupplung [1]

Die Motorenwelle ist an der inneren Welle befestigt. Bei einer bestimmten Nenndrehzahl werden die „Bremsbacken“ durch die Fliehkraft, entgegen der rückziehenden Kraft des Gummirings, nach aussen gedrückt und die Reibbelage über das Drehmoment auf den Aussenring übertragen, was dieser weiter auf die Abtriebswelle leitet. Unterschreitet der Motor eine feste Drehzahl, zieht die Fliehkraft den Gummiring zurück und die Übertragung wird unterbrochen.

Vor- und Nachteile der Funktionsvereinigung

Die Funktionsvereinigung bringt offensichtlich eine leichtere, platzsparendere Konstruktion mit meist weniger Teilen mit sich, was häufig eine kostengünstigere Lösung bedeutet. Nachteilig ist, dass die funktionsvereinten Bauteile schwieriger dimensionierbar sind. Dieser Nachteil zeigt sich klar am Beispiel der elastischen Kupplung, wo der Gummiring zwei Funktionen, Drehmoment übertragen und radialer Ausgleich von Fluchtfehlern, erfüllen muss. Das sind zwei diametral unterschiedliche Forderungen, einerseits eine Anforderung an hohe Steifigkeit und Festigkeit für die Momentübertragung und andererseits eine Elastizität für den geometrischen Ausgleich. Hier müssten mit Sicherheit auch vertiefte Tests (siehe „Experimentieren“) durchgeführt werden.

Funktionsvereinigung kann auch erschwerte Montage- und Service-Aufgaben zur Folge haben. Unter anderem kann das gezeigte Einführen von Leitungen in die Maschinenprofile (z. B. bei Kabelbruch) Probleme beim Auswechseln bereiten. Man sieht, dass die Funktionsvereinigung häufig der notwendigen Einfachheit und teilweise auch der Eindeutigkeit zuwider läuft.

Eine generelle Empfehlung kann, wie in vielen Fragestellungen der Konstruktion, nicht gegeben werden. Die Antwort wird stark von der Aufgabenstellung geprägt. Eingrenzend kann aber gelten:

- Funktionstrennung:
  Bewährt sich innerhalb von einmaligen Sonderkonstruktionen zur Steigerung der Eindeutigkeit und Sicherheit.
- Funktionsvereinigung:
  Bewährt sich bei Serienprodukten mit der Möglichkeit eingehender Berechnungs- und Testphasen. Dies steigert meist die Einfachheit durch den Gebrauch von wenigen Teilen.

7.2.2. Bauteilvereinigung, Bauteilauftrennung (Integral- und Differentialbauweise)

Dieses Konstruktionsprinzip ist mit dem vorangegangenen verwandt, betrachtet die Aufgabe jedoch nicht von der Funktion aus, sondern von der Seite der Anzahl Bauteile, ob zwei oder mehr Teile zu einem einzigen Teil vereint werden können. Aus dem Ansatz der Funktionsvereinigung folgert häufig auch eine Bauteilvereinigung.

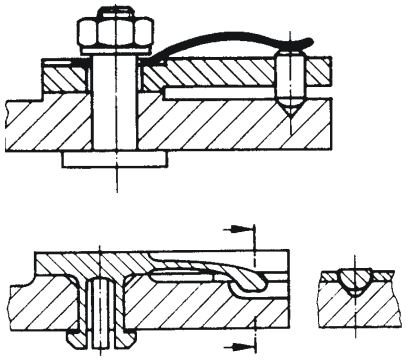


Bild (B040gesZ) Bauteilvereinigung: 7 Einzelteile (oben) auf 2 Teile (unten) reduziert [3]

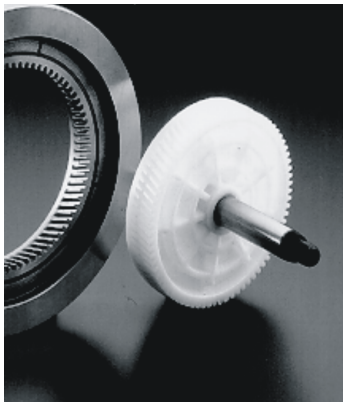


Bild (B041gesZ) Insert Spritzgiessteil. Das Kunststoff-Zahnrad wird direkt auf die Stahlwelle gespritzt (Mikron)

Beispiel: Armatur, Fliese

Die Funktion der Fliese ist schützen und dekorieren und die Funktion der Armatur ist Wassermenge und -Temperatur regeln. Die Integralbauweise vereint die Funktionen und die Bauteile.

Bild (B042gesZ) Funktions- und Bauteilvereinigung

Das Unternehmen INAX vereint damit auch seine beiden Kompetenzen (Keramik, Armaturen). Der Kommentar des Designers (DROG Design) lautet: „... schliesst man Dekoration aus, landet man automatisch bei der Funktion ...".

Vor- und Nachteile der Bauteilvereinigung

Vorteile der Bauteilvereinigung:

- weniger Einzelteile
- weniger Bestellungen
- weniger Lieferanten
- weniger Lagerpositionen
- weniger Einzelteilrechnungen
- Reduktion der Fügestellen und Toleranzen
- reduzierte Montagezeit
- weniger Einstellarbeit.

Nachteile der Bauteilvereinigung:

- Umkehrung der Vorteile
- komplexere Teile, meist werden Werkzeug-Formen und Modelle benötigt.
- längere Entwicklungszeit, aufwändigere Testphasen
- bei grossen Maschinen: Transport teilweise verunmöglicht
- höheres Entwicklungsrisiko
- aufwändigeres Änderungswesen
- schwierige Bauteil- bzw. Materialtrennung bei der Entsorgung.

Die Bauteilvereinigung eignet sich eher für Serienprodukte mit genügend zur Verfügung stehender Entwicklungszeit.

Leider werden Kostenanalysen, für oder gegen eine Bauteilvereinigung, nur selten über den gesamten Lebenszyklus eines Bauteiles

durchgeführt. Die Betrachtungsweise muss alle anfallenden Kosten z. B. für Zeichnungserstellung, Zeichnungsverwaltung, Bestellwesen, Rechnungswesen, Lagerhaltung, Änderungswesen, Entsorgung, usw. umfassen. Die vollständige Kostenrechnung über den Produkt-Lebens-Zyklus, umfassend erstellt, ergibt vielfach einen Vorteil für die Reduktion der Teilezahl, auch wenn die Erstbeschaffungskosten im Moment ein gegenteiliges Bild zeigen.

Beispielsweise haben Untersuchungen eines Motorenherstellers gezeigt, dass die Gemeinkosten eines Teils (ohne die eigentlichen Beschaffungskosten) über seine gesamte Lebensdauer mehr als 3500 EUR betragen. Sogar die sogenannten „billigen" Produkte, wie z. B. Schrauben, deren Beschaffung einige Rappen kosten, werden in den Gesamtkostenberechnungen um ein Mehrfaches teurer (bei Schrauben ein Faktor von rund 8).

7.3. Prinzip der Kraftleitung (Kraftfluss)

Wodurch zeichnen sich gute konstruktive Lösungen aus? Wieso sind die einen viel „leichter" gebaut als andere und trotzdem erfüllen beide dieselben Anforderungen?

Neben den gezeigten Aspekten liegt die Antwort in der konstruktiven Beherrschung der Kräfte (und Momente). Kräfte sind in fast jedem Produkt vorhanden und werden von aussen eingebracht und von Bauteil zu Bauteil weitergeleitet. Das Erkennen der Kräftebeziehungen und optimale Nutzen derselben wie Einleitung, Transport und Ableitung sowie besonders das Schliessen der Kräfte führen zu guten Konstruktionen.

In der Mechanik werden die Grundlagen über Kräfte und ihre Wirkung (Spannungen, Dehnungen) behandelt (Prinzip der Kraftleitung). Hier eine grobe Zusammenfassung für das Verständnis des Kraftflusses:

- Kräfte und Momente werden von aussen oder innen durch Belastungen, Gewichte und dynamische Effekte (z.B. Beschleunigung) auf Bauteile eingebracht.
- Die Bauteile übertragen diese Kräfte und Momente auf ihre Umgebung. Dies erfolgt über Fügestellen und Lagerungen, sogenannten Wirkflächen.
- Im betrachteten, abgegrenzten Teilsystem sind alle Kräfte und Momente im Gleichgewicht (actio = reactio).
- Die Kräfte und Momente bewirken Spannungen innerhalb der Bauteile. Spannungen sind Kräfte pro Fläche (infinitesimale Kräfte).

- Spannungen erzeugen Dehnungen im Material (infinitesimale Verformungen).
- Ein Material kann nur begrenzt Spannungen ertragen, danach kommt es zum Versagen durch plastisches Verformen oder Bruch.
- Die über das ganze Bauteil integrierten Dehnungen entsprechen den Verformungen des Bauteiles (Längsverformungen, Torsionen etc.).

Hier vorerst als Überblick eine Gliederung der Regeln zur konstruktiven Beherrschung und Optimierung der Kräfte (und Momente) im Hinblick auf „gute" Konstruktionen.

Regeln

1. Eindeutigkeit in den Kräften und der Kräfteführung anstreben.
2. Kräfteübertragung:
   - Für steife Konstruktionen kurze Kraftwege gestalten. Zug- und Druckkräfte bevorzugen.
   - Für weiche Konstruktionen lange Kraftwege gestalten. Biege- und Torsionsmomente bevorzugen.
3. Starke Kräfteumleitungen und -verengungen vermeiden (Minimierung der Kerbwirkung).
4. Lastausgleich anstreben durch
   - Schliessen von Kräftekreisen.
   - Elimination von Nebenkräften.
5. Gleiche Beanspruchung innerhalb eines Bauteils anstreben.

7.3.1. Eindeutigkeit der Kräfte und Kräfteführung

Innerhalb einer Konstruktion müssen die eingebrachten Kräfte und Belastungen bekannt sein. Unsicherheiten erfordern entweder Versuche oder Simulationen und im ungünstigsten Fall Annahmen. Um bei Annahmen den Unsicherheitsfaktor möglichst klein zu halten, fallen die entsprechenden Entscheide immer auf die konservative, sichere Seite und so werden ganze Konstruktionen überdimensioniert, schwerer und ergeben infolge der mächtigeren Konstruktion selber wieder grössere Kräfte. Eine unschöne Spirale öffnet sich. Es lohnt sich, Zeit in die Analyse der Kräfteverhältnisse zu stecken.

Auch das Fest-Fest-Lager ist ein Beispiel von Überbestimmtheit. Weil nicht festgelegt ist, welches Lager die Axialkraft übernimmt, müssen beide Lager für die gesamte Kraft dimensioniert werden. Äussere Kräfte werden durch die Bauteile „geleitet" und auf die benachbarten Teile übertragen, z. B. über Befestigungen oder Lagerungen. Statische Bestimmtheit wird bevorzugt, nur dann kann eine einfache

Aussage über die Reaktionskräfte gemacht werden. Ansonsten muss von konservativer Annahme ausgegangen werden. Als Beispiel der Unbestimmtheit der Kräfte wurde der Vierbein-Stuhl erwähnt. Bei dessen Dimensionierung muss konservativ angenommen werden, dass ein Bein unbelastet ist und nur drei Beine tragen. Konkret bedeutet dies, dass das Gewicht und der Platz eines Beines überzählig ist und die Herstellkosten um ¼ verteuert.

Merke: Die Belastungen auf das Produkt müssen bekannt (Lastfälle) und die Kräfteeinleitung im Produkt muss eindeutig sein.

Anschaulich sind die Unterschiede auch im folgenden Bild einer Lagerung. Der Kraftfluss der radialen Kräfte erfolgt eindeutig über das Zylinderrollenlager; die axialen Kräfte werden über das Rillenkugellager geleitet.

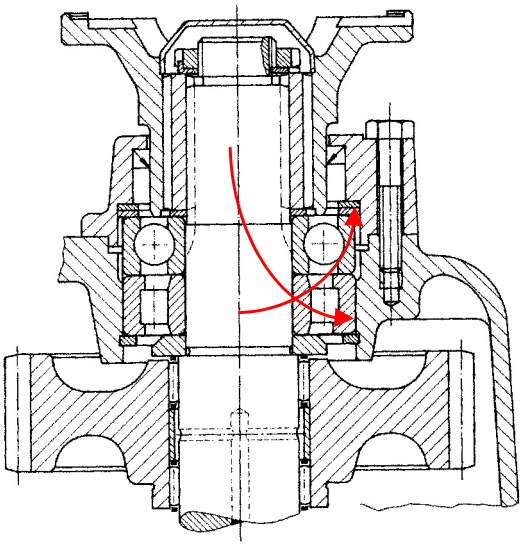


Bild (B045gesZ) Kräfteübertragung am Beispiel Wellenlagerung. Radiale Kräfte werden durch Zylinderrollenlager, axiale Kräfte nur durch Rillenkugellager übertragen.

7.3.2. Kräfteübertragung

Kräfte werden innerhalb der Konstruktion unterschiedlich übertragen, zum Beispiel über Zug-, Druck-, Biege- oder Torsionsbelastung. Vielfach auch eine Kombination dieser Belastungsarten. Bauteile verhalten sich, bei identischer Last, unterschiedlich steif, abhängig von der Beanspruchungsart.

- Kräfteübertragung durch reine Zugbeanspruchung hat die grösste Steifigkeit.

- Übertragung durch Druckbeanspruchung ist identisch steif, birgt aber eine Knickgefahr in sich.
- Biege- und vor allem Torsionsbeanspruchung ergeben weiche Strukturen.

  Ein eindrückliches Beispiel dazu stellt ein Profilstab aus Stahl dar, mit dem Quadrat-Querschnitt 10 x 10 mm und der Länge 100 mm, der mit 100 N belastet wird. Wir betrachten nun zwei Fälle. Einmal ist der Stab in einer Wand eingespannt und horizontal herausragend. Im zweiten Fall hängt der Stab vertikal von der Decke. In beiden Fällen wirkt die Kraft vertikal nach unten am freien Ende angreifend.

  Wie die Rechnung ergibt, biegt sich der Biegestab 0.19 mm durch, während der Zugstab bei derselben Belastung sich nur 0.0005 mm dehnt (um Faktor 380 weniger).

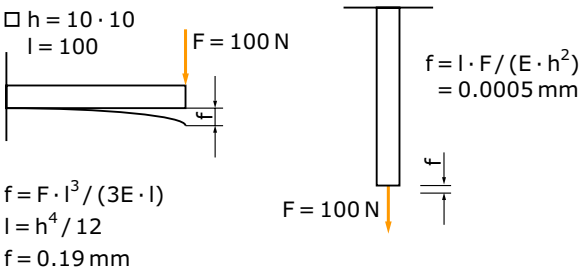


Bild (B043gesZ) Vergleichsrechnung: Formänderung bei Biege- und Zugbeanspruchung unter gleicher Belastung.

Oder umgekehrt betrachtet könnten wir die Kantenlängen des Zugstab auf 0.5 x 0.5 mm reduzieren, um eine identische Dehnung von 0.19 mm zu erhalten. Noch anschaulicher ist der Vergleich zwischen den beiden Stäben in Bezug auf das Gewicht. Bei gleicher Auslenkung (0.19 mm) wiegt der dafür notwendige Biegestab 79 g und der Zugstab 0.2 g, also wieder der 380-fache Gewichtsunterschied bei identischer Bauteil-Steifigkeit.

Was erkennen wir daraus? Um weiche Strukturen zu erhalten, werden Kräfte über eine möglichst lange Strecke mittels Biegung oder Torsion geleitet. Das wohl typischste Beispiel ist die Spiralfeder. Hier wird die Kraft über einen weiten Weg von der Einleitung oben zur Ausleitung unten geleitet.

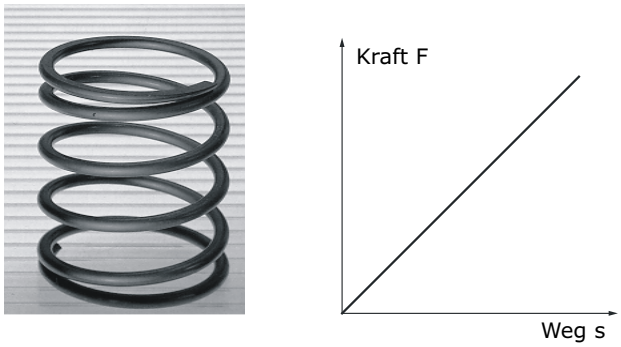


Bild (B044gesZ) Sehr weiche Struktur durch weite Leitung der Kräfte bei der Spiralfeder

Um steife Strukturen zu erhalten, werden die Kräfte über möglichst kurze Strecken mittels Zug oder Druck übertragen. Ein Beispiel ist die konventionelle Schraubenverbindung.

7.3.3. Kräftefluss

Kräfte werden im Bauteil von der Stelle des Krafteintritts zu jener des Kraftaustritts geleitet. Dabei kann die Beanspruchungsart (Zug, Biegung oder Torsion) wechseln.

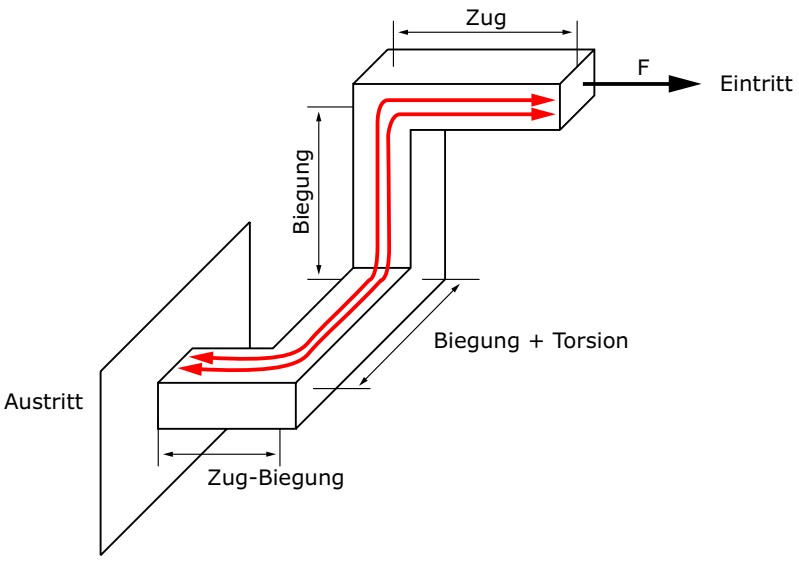


Bild (B046gesZ) Kombinierte Belastung

Zum besseren Verständnis bedient sich der Konstrukteur einer Hilfsvorstellung, eines Gedankenmodells aus der Strömungslehre. Darin wird ausgesagt, dass Beanspruchungen (zwischen Kräften und Momenten wird nicht unterschieden) wie eine Flüssigkeit das Bauteil „durchfliessen". Beim Krafteintritt „strömt" der Kraftfluss ein und bei der Lagerung aus. Scharfe Umlenkungen und Verengungen erhöhen die Flussgeschwindigkeit. Die sich in dieser Betrachtung ergebenden Strömungsgeschwindigkeiten widerspiegeln in der Modellanalogie die Beanspruchungsintensität im Bauteil. Eine theoretische Formulierung dieses Modells existiert nicht, weshalb das hier Gesagte nur als praktische aber sehr anschauliche Hilfsvorstellung zu verstehen ist.

Ein Beispiel von Kraftflussüberlegungen soll an einer Presse durchgeführt werden.

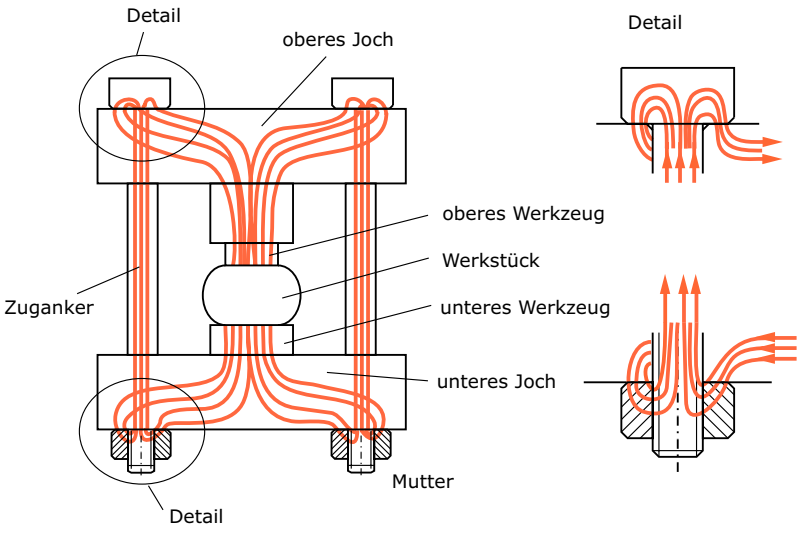


Bild (B047gesZ) Kraftfluss, dargestellt am Beispiel einer Presse [1]

Die Kräfte des oberen Werkzeuges werden über das Werkstück auf das untere Werkzeug übertragen und fliessen als Druckspannungen durch den unteren Tisch. Dort verteilen sich die Beanspruchungen in die Breite. Im unteren Joch werden sie stark umgelenkt und über Biegungsbeanspruchung nach links und rechts geleitet. Die Beanspruchungen werden beim Mutterkopf ringförmig in die Mutter geleitet, dort stark umgelenkt, auf die Gewindegänge der Schraube umgelenkt und von dort als Zugspannungen durch die Schraube nach oben geführt. Oben im Schraubenkopf werden die Spannungen wieder

über den Schraubenkopf in das obere Joch umgelenkt und auf den Kolben im oberen Werkzeug geleitet.

Auch wenn diese Betrachtung nur als Anschauung dient, ergeben sich daraus doch die Forderungen an den Konstrukteur, wie Spannungsüberhöhungen bzw. Spannungsspitzen vermieden werden,:

- Sanfte Kraftumlenkungen realisieren.
- Verengungen im Kraftfluss verhindern.
- Kraftfluss auf das ganze Bauteil gleichmässig verteilen.

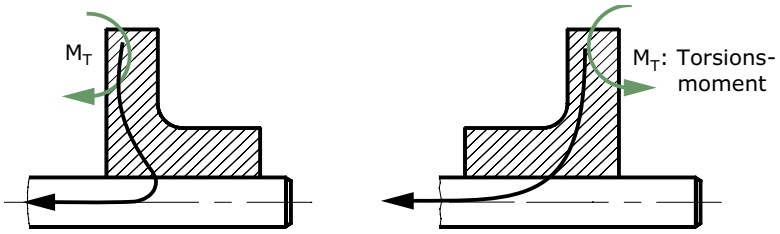


Bild (B048gesZ) links: schroffe Momentumlenkung, rechts: sanfte Umlenkung [2]

Mit der heutigen Finite-Elemente-Berechnung von Bauteilen können die Modellvorstellungen der „Strömung“ verifiziert werden. Hier am Beispiel eines flachen Zugstabes mit zentralem Loch als Verengung.

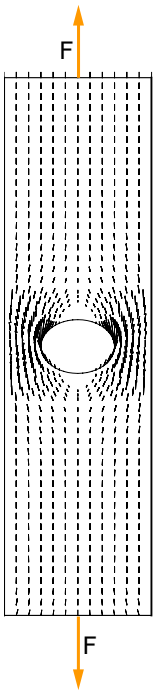


Bild (B049gesZ) FE-Berechnung einer Zugprobe. Die kleinen Pfeile zeigen die erhöhte Beanspruchung infolge Umlenkung um das Loch.

Eine krasse Umlenkung der Kräfte erkennt man bei Schraubenverbindungen.

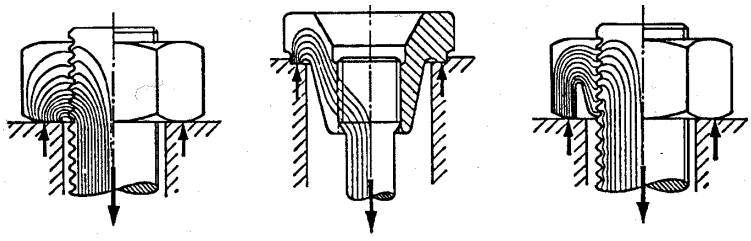


Bild (B050gesZ) Kraftfluss- und Kraftumlenkung am Beispiel der Schraubenverbindung.
a: Mutter mit überhöhter Belastung in den ersten Gewindegängen,
b: Zugmutter mit optimaler Kraftverteilung und -Einleitung,
c: Mutter mit Entlastungskerbe für vorteilhafte Krafteinleitung und -Vertiefung [1]

Im Bild (B050gesZ) (a) sieht man die krasse Umlenkung der Kräfte und die Konzentration der Strömungslinien bei den ersten Gewindegän-

gen. Bei einer Zugmutter (b) oder Nutmutter (c) ist die Umlenkung sanfter und der erste Gewindegang wird weniger stark belastet.

7.3.4. Prinzip des Lastausgleichs

Diese Prinzipien werden gegliedert in:

- Elimination von Nebenkräften
  - Lastausgleiche
  - Symmetrieanordnungen
  - Schliessen von Kräftekreisen
- Vorgehen bei statischer Überbestimmtheit
  - statische Bestimmtheit erreichen
  - Auswirkungen der Unbestimmtheit verringern

Viele für die Funktion notwendige Kräfte, nennen wir sie die Hauptkräfte, ergeben durch die Art der Krafteinleitung bzw. durch das physikalische Prinzip unerwünschte Nebenkräfte.

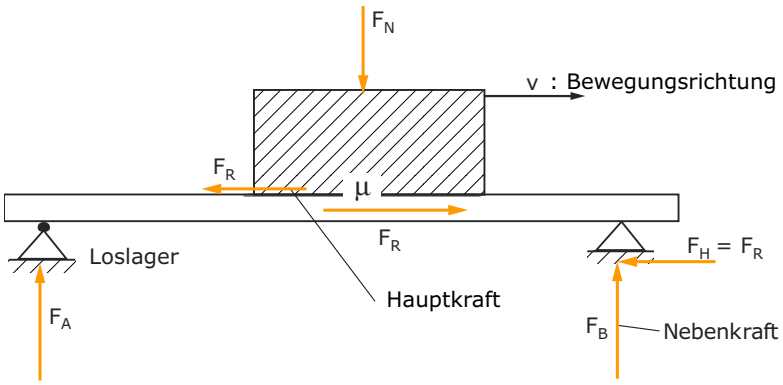


Bild (B051gesZ) Kräfteerzeugung beim Abbremsen eines Körpers auf einer Unterlage.

Betrachten wir dies an einem anschaulichen Problemfall. Ein bewegter Körper auf einer Ebene soll abgebremst werden. Funktionsnotwenig ist die Reibkraft F_R. Um diese zu erzeugen, wenden wir das Gesetz der Reibkraft an:

$$F_R = \mu \cdot F_N \qquad (2)$$

Wir benötigen demnach eine Normalkraft F_N. Diese Normalkraft F_N erzeugt Lagerkräfte F_A , F_B die für die Reibung F_R eigentlich „unnötig“ sind. Die Reibung fordert nur die axiale Lagerkraft F_H als Reaktions-

kraft. Konstruktiv gibt es die Möglichkeit, die Kräfte F_A und F_B zu verhindern, indem zwei Bremsklötze symmetrisch angeordnet werden:

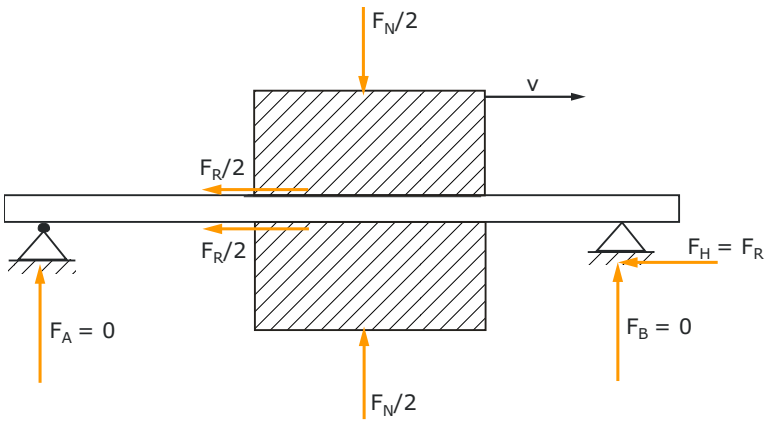


Bild (B052gesZ) Symmetrische Anordnung zur Verhinderung der Nebenkräfte.

So ergibt sich bei nur halben Normalkräften dieselbe Reibkraft F_R mit dem konstruktiven Unterschied, dass keine Lagerkräfte F_A und F_B auftreten, weil diese sich gegenseitig aufheben. Die Lager sind viel schlanker zu Gestalten!

Dies kann man als Symmetrieprinzip bezeichnen und findet auch Anwendung z. B. bei:

- schrägverzahnten Zahnrädern,
- Bremsbacken und
- Kupplungen.

Beim genauen Betrachten der Lösungen erkennt man, dass die Kraft nicht von beiden Seiten aktiv eingeleitet werden müsste, sondern eine einseitige Krafteinleitung ausreicht, falls die Gegenkraft über eine Reaktionskraft eines geschlossenen Kraftkreises eingeleitet wird.

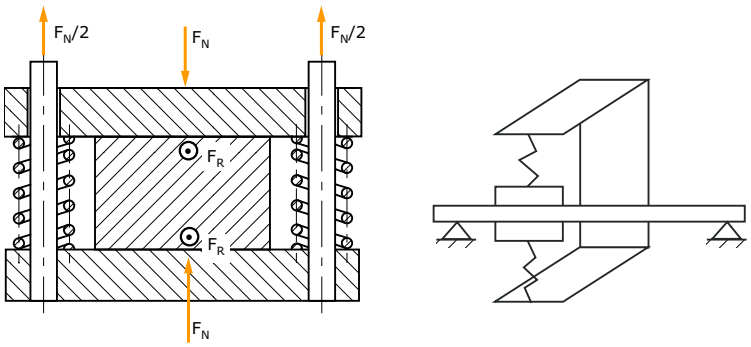


Bild (B053gesZ) Konstruktiv geschlossene Lösung.

Dies wird als Prinzip des Kräfteschlusses bezeichnet. Nur die im Kraftkreis betroffenen Bauteile müssen dimensioniert werden. Benachbarte Teile, wie z. B. die Aufhängung der Schiene, sind vollständig entlastet und es entstehen „leichte" Konstruktionen.

Ein Beispiel, bei welchem die Kräfte auf kurzem Weg geschlossen sind und somit die Konstruktion von Nebenkräften entlastet ist, zeigt das folgende Bild einer Reibkupplung.

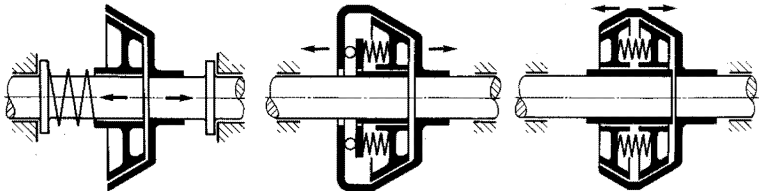


Bild (B054gesZ) Verschiedene Ausführungen von Reibkupplungen. [2]

Links wird die Reibkraft durch eine Feder an der linken Lagerstelle abgestützt (Nebenkraft). Im mittleren Bild wird die Kraft am rechten Teil „über Kopf" abgestützt. Im rechten Bild wird diese Abstützkraft zusätzlich als Reibkraft genutzt.

7.3.5. Vorgehen bei statischer Überbestimmtheit

Statische Überbestimmtheit (Regel der Eindeutigkeit) sollte vermieden werden. Bei technischen Systemen ist dies jedoch schwierig erreichbar. Als Resultat davon treten Verspannungen auf. Um diese zu mindern müssen genauere und somit kostspieligere Fertigungstoleranzen eingehalten werden. Konstruktiv bestehen Möglichkeiten, die Überbe-

stimmtheit in erster Priorität zu beseitigen oder aber, falls dies nicht möglich ist, die negativen Auswirkungen wie Verspannung und erhöhte Kräfte zu minimieren.

Betrachten wir dies an einem einfachen Beispiel. Ein Stab ist vierfach aufgelegt und somit statisch unbestimmt. Die Beseitigung der Überbestimmtheit kann rein mechanisch erfolgen. Durch das Einbringen weiterer Gelenke wird das Gesamtsystem bestimmt (mittleres Bild).

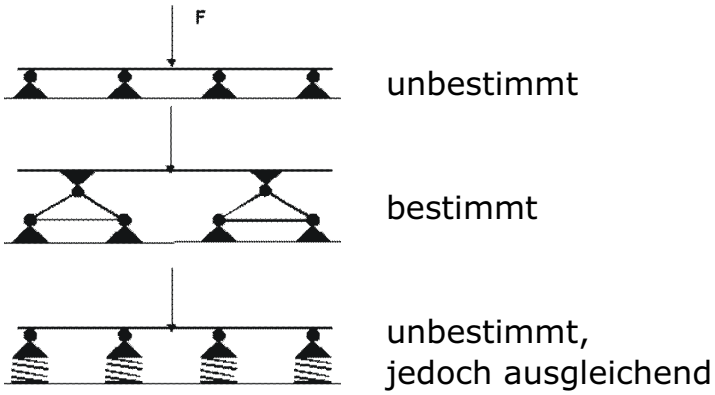


Bild (B056gesZ) Möglichkeiten zur Elimination unbestimmter Lagerungen.

Die Auswirkung der Unbestimmtheit kann jedoch auch reduziert werden, indem z. B. Federelemente eingelegt werden, wie dies die untere Prinzipskizze zeigt. Diese Methoden werden z. B. auch bei Welle-Nabe-Verbindungen zum Ausgleich von Fluchtfehlern angewendet.

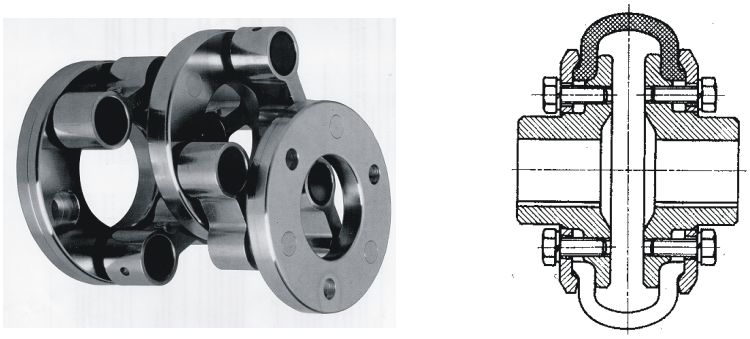


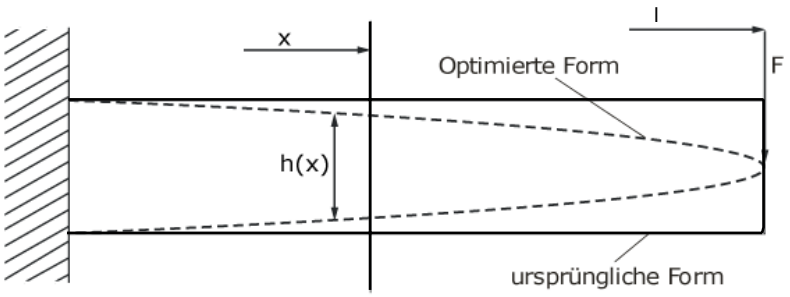
Bild (B057gesZ) Kupplungen zum Verbinden von achsversetzten Wellen. Links: statisch bestimmt, für grossen Achsversatz (Güdel), rechts: mit Elastomer, statisch unbestimmt, verspannt (Biegung), für geringen Achsversatz

Links sehen wir den Ausgleich durch zusätzliche Gelenke, rechts eine Lösung mit elastischem Ausgleich. Trotz der prinzipiellen Verspanntheit ist auch die Elastomer-Kupplung eine erprobte Lösung: der „Einfachheit“ wird hier der Vorrang gegeben.

7.3.6. Prinzip der konstanten Beanspruchung

Das Prinzip der konstanten Beanspruchung soll der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Das strömungstechnische Modell der Kräfteleitung durch das Bauteil zeigt auch Zonen, die nicht oder weniger beansprucht (durchströmt) sind (siehe bei der Presse die äusseren Bereiche der Joche). Eigentlich überschüssiges oder überdimensioniertes Material. Um eine leichte Konstruktion zu erreichen, besteht die Zielsetzung, diese Zonen einzusparen. Häufig widerspricht diese Forderung jedoch dem Ziel einer kostengünstigen (einfachen) Fertigung. Die Elimination unbeanspruchter Zonen erfordert vielfach komplexere Werkzeuge oder zusätzliche Bearbeitungsschritte. Verschiedene moderne Fertigungsmethoden erlauben komplexe Formen ohne Kostennachteil.

Als einfaches Beispiel sei hier ein eingespannter Biegestab mit einer Einzellast am freien Ende erwähnt. Von der Angriffsstelle ausgehend nimmt das Moment linear zu und erreicht das Maximum an der Einspannung. Das Prinzip gleicher Festigkeit ist beim Biegestab mit konstantem Querschnitt verletzt. Im optimierten Fall sollte sich der Querschnitt in Richtung der Einspannstelle vergrössern.



$\sigma_B(x) = \text{const.}$
$\Rightarrow h(x) = c \cdot \sqrt{l-x}$

Bild (B058gesZ) Gestaltoptimierung für Bauteil gleicher Belastung.

7.3.7. Prinzip der Selbsthilfe

Im Prinzip der Selbsthilfe vereinigen sich konstruktive Lösungen, die sich physikalische Effekte zunutze machen. Das ergibt „gratis“ bessere, leichtere Lösungen.

Wer kennt ihn nicht, den Seilknoten, der sich trotz grossen Zugkräften nicht löst, sondern im Gegenteil noch stärker anzieht. Ähnliche Lösungen existieren auch in der Konstruktion.

Betrachten wir dies an der Konus-Verbindung: Je grösser F wird, desto grösser wird die Konus-Normalkraft und desto mehr wird der Zugstab geklemmt. Die Schulter auf der Welle könnte nach Aufbau der Kraft weggelassen werden.

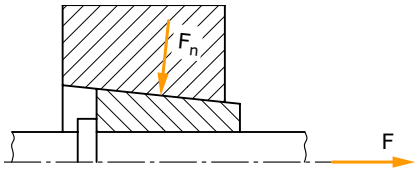


Bild (B059gesZ) Konus-Verbindung

Viele Selbsthilfe-Lösungen sind in Dichtungsaufgaben realisiert. Der Druck wird dazu verwendet, die Dichtung noch zu verstärken. Ein Beispiel ist die Manschettendichtung: Der Innendruck wirkt auf den elastischen Ring, so wird die Dichtlippe noch stärker an die zu dichtende Zone gepresst

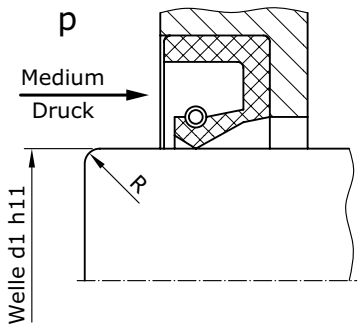


Bild (B060gesZ) Manschettendichtung: verstärkte Dichtwirkung unter Druck

Auch in Produkten, welche Sicherheitsaspekten unterliegen, wird das Prinzip der Selbsthilfe benutzt, wie z. B. bei der Deckelanordnung von Druckbehältern. Gleichzeitig ist hier der Aspekt „sicher" berücksichtigt.

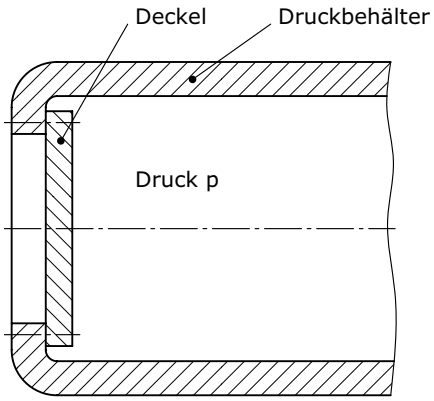


Bild (B063gesZ) Deckelordnung von Druckbehälter von innen.

7.4. Gestaltungsrichtlinien (design-for-x)

Unter Gestaltungsrichtlinien, auch „design-for-x" oder Konstruktionsregeln bzw. Gerechtheiten genannt, summiert man zweckmässige Gestaltungs-Empfehlungen, welche sich vielfach bewährt haben und damit eine allgemeine Gültigkeit erhalten.

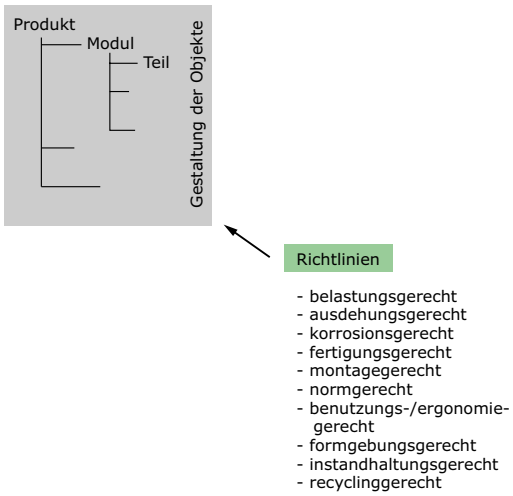


Bild (B915entZ) Gestaltungsrichtlinien im Überblick

Die Einhaltung dieser Empfehlungen bewirkt, dass

- günstigere Teile resultieren,
- die Montage oder Handhabung erleichtert wird,
- die Zuverlässigkeit erhöht wird,
- die Umwelt geschont wird,
- etc.

Vor allem bei fehlender Konstruktionserfahrung können diese Richtlinien auf Verbesserungspotentiale hinweisen.

Erschwert wird die Anwendung der Richtlinien dadurch, dass sich die Anweisungen häufig widersprechen (z. B. korrosionsgerecht und kostengerecht). Dies bedeutet, dass eine eigene Priorität gesucht und ein Optimum angestrebt werden muss.

Im Folgenden soll eine Auflistung der Richtlinien erfolgen und dabei auf die vertiefende Literatur verwiesen werden. Dort finden sich diese Richtlinien in einem geordneten Kontext.

Wichtige Gestaltungsrichtlinien sind:

- belastungsgerecht (Festigkeit, Verformung, Stabilität und Schwingung)
- ausdehnungsgerecht
  - Temperatur-Ausdehnung
  - kriechen
- korrosionsgerecht
- fertigungsgerecht
- montagegerecht
- normgerecht
- benutzungsgerecht, ergonomiegerecht
- formgebungsgerecht, designorientiert
- instandhaltungs- und wartungsgerecht
- recyclinggerecht

8. Management und Methoden im Entwurfsprozess

Neben den rein gestaltenden Tätigkeiten sind während des Entwurfsprozesses auch verschiedenste Managementaufgaben zu erfüllen. Das qualitative Gesamtziel, welches es zu erreichen gilt, ist zu gliedern in:

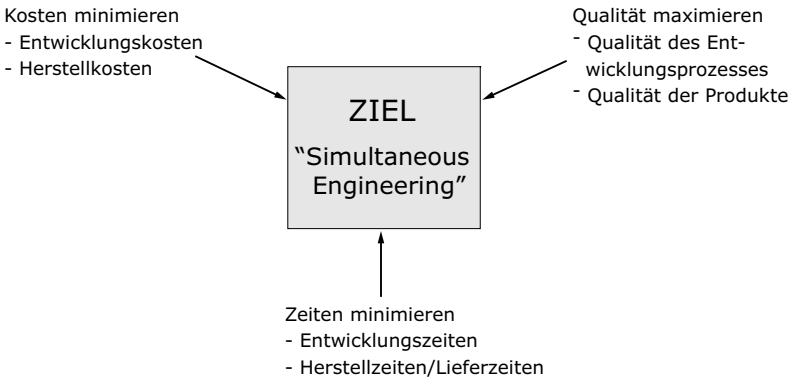


Bild (B061gesZ) Ziele des „Simultaneous Engineering"

Damit ist der Qualitätsbegriff breit abgestützt und umfasst nicht nur Qualität in engerem Sinne, sondern auch Kosten, Zeit etc. Häufig wird in Bezug auf diesen gesamtheitlichen Qualitätsanspruch auch der Begriff „Simultaneous Engineering" oder „Null-Fehler-Ansatz" verwendet. Damit wird ausgedrückt, dass alles Handeln darauf abzielt, Fehler zu verhindern, frühzeitig zu erkennen und zu beheben.

Bemerkung: In der Literatur wird der Begriff des „Simultaneous Engineering" doppelt belegt. Einmal als Synonym für „Concurrent Engineering (paralleles Arbeiten) und einmal im gesamtheitlichen Kontext wie hier beschrieben.

Qualität in übergeordneter Bedeutung ist bestmögliche Erfüllung der Kunden/Marktbedürfnisse und der Unternehmensziele.

Die Methoden und organisatorischen Empfehlungen, mit welchen die Arbeit und Zielerreichung unterstützt werden, sind unter anderem

- Projektmanagement
- Teamorganisation
- QFD (Quality Funktion Deployment)
  Die QFD-Methode wurde schon vor geraumer Zeit in Japan entwickelt, hat sich bei uns aber erst in den letzten Jahren verbreitet. Die Methode hat folgende Zielsetzungen:

- Korrelationen zwischen den Kundenanforderungen und Produktmerkmalen erkennen.
- Klassifizierung der Bedeutung von Produktmerkmalen in Bezug auf die Kundenanforderungen.
- Korrelation der Merkmale untereinander erkennen.

Anders ausgedrückt vermittelt das Resultat der QFD dem Team einen Überblick, welchen Produktmerkmalen welche Bedeutung beigemessen werden kann. Grundsätzlich ermöglicht die QFD ein intensives Auseinandersetzen des Teams mit dem Spannungsfeld der Anforderungen und der Merkmale.

- FMEA (Fehler-Möglichkeits- und -Einfluss-Analyse/Failure Mode and Effect Analysis)

  Die FMEA-Studie dient zum Lokalisieren der Risiken in Bezug auf den Prozess, die Funktionalität, die Langlebigkeit, die Sicherheit usw. des Produktes. Existieren neuralgische Punkte, wo sich Fehler oder Probleme im allgemeinen Sinn verstecken können? Mit Hilfe der FMEA werden Massnahmen festgehalten, um die lokalisierten Risiken zu eliminieren bzw. zu vermindern. Es sei hier noch auf einen rechtlichen Aspekt hingewiesen. Bei einer Produkt-Haftpflichtklage gegen einen Hersteller dienen durchgeführte und belegte FMEA-Studien als Entlastung, fehlende Studien hingegen können belasten.
- DFMA (Design for Manufacturing and Assembling)

  In den 80er Jahren erarbeiteten die amerikanischen Forscher Boothroyd und Dewhurst die Grundlage dieser Methode. Teilmethoden sind entsprechend der Bedeutung der Buchstaben unter DFM und DFA bekannt.

  Das primäre Ziel der Methode ist die Reduktion der Teilezahl des Produktes. (Bauteilvereinigung/-trennung). Jede Bauteilreduktion ändert auch die Randbedingungen für die Herstellung der Teile und die spätere Montage.

  Die Methode DFMA behandelt das Beziehungsfeld zwischen Teileanzahl, Montage- und Fertigungsaufwand.

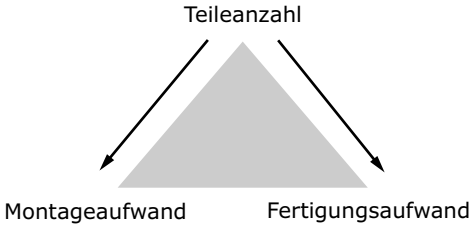


Bild (B062gesZ) Beeinflussung des Montage- und Fertigungsaufwandes durch die Anzahl der Teile

Methodisch setzen wir uns in der DFMA immer mit den folgender Fragen auseinander:

- Müssen sich zwei miteinander in Verbindung stehende Bauteile relativ zueinander bewegen und ist die Bewegung nicht durch ein elastisches Material möglich?
- Müssen zwei miteinander in Verbindung stehende Teile aus unterschiedlichen Materialien bestehen?
- Muss ein Teil lösbar sein, damit die Zugänglichkeit zu anderen Teilen für Montage oder Demontage erhalten bleibt?

Falls eine der Fragen mit einem eindeutigen „Ja!“ beantwortet werden kann, handelt es sich um ein notwendiges Teil. Falls alle Antworten „Nein!“ lauten, handelt es sich um „verdächtige“ Teile und eine Bauteilvereinigung muss untersucht werden. Die verbleibende Anzahl notwendiger Teile ist die „theoretisch minimale Teilezahl“.

Die Methode stellt als Betrachtungszentrum die Lösung mit der minimalen Teilezahl als die optimalste hin. Die darauf basierte konstruktive Lösung wird nun in Bezug auf Herstellbarkeit und Montierbarkeit grundsätzlich analysiert und in einem zweiten Schritt optimiert.

Die aus dieser Studie resultierende Lösung wird nochmals analysiert, um

- gesamtheitlich zu verifizieren, dass die neue Lösung kostengünstiger ist und
- sich keine zusätzlichen Probleme eingeschlichen haben.

Verschiedenste Firmen wenden die Methode mit Erfolg an. Teilereduktionen von über 30% sind in verschiedenen Projekten erzielt worden und damit verbunden markante Senkungen der Herstellungskosten.

Für alle hier vorgestellten Methoden existiert am Markt leistungsfähige Software. Diese nimmt die Fleissarbeit ab, das Abwägen von Kriterien usw. ist jedoch ausschliesslich vom Team zu erledigen.

- Target Costing
  Mittels der Regeln des Target Costing werden Kosten des Produktes während der Entwicklung strukturiert und überwacht.
  Ausgehenden von den Gesamtkosten eines Produktes (Zielkosten) werden die maximalen Teilkosten für jedes Modul bestimmt. Während der Entwurfsphase werden die prognostizierten Kosten jedes Moduls überwacht und bei Abweichungen Massnahmen definiert.
- Design Review
  Design Reviews dienen dazu, an fixen terminlichen Meilensteinen die Zielerfüllung gemäss Anforderungen in Bezug auf
  - Funktion,
  - Qualität,
  - Kosten und
  - Termin

  zu überprüfen und zu entscheiden, ob
  - das Projekt gemäss Terminplan weitergeführt wird,
  - das Projekt abgebrochen werden muss für das Projekt eine Iterationsschlaufe eingeführt werden soll, welche die fehlenden Informationen oder sonstigen Erkenntnisse bringt oder

  Die Anzahl und der Zeitpunkt der Design Reviews werden vom Projektleiter festgelegt. Meist werden Design Reviews zwischen dem Team und dem Lenkungsausschuss durchgeführt.

9. Dokumentation des Entwurfsprozesses

Die Abgrenzung des Entwurfsprozesses vom anschliessenden Dokumentationsprozess ist nicht eindeutig geregelt. Sie ist stark überlappend und auch abhängig vom

- Produkt das entwickelt wird,
- der Arbeitsweise des Teams und
- dem Werkzeugeinsatz.

Deshalb ist es auch schwierig zu definieren, welche Ergebnisdokumente im Anschluss an den Entwurfsprozess vorliegen müssen. Die folgende Aufstellung ist demnach als Vorschlag zu verstehen und geht davon aus, dass moderne Arbeitsmittel und -methoden eingesetzt wurden.

- CAD-Modell:
  Es liegt ein vollständig in 3D-CAD modelliertes Produktmodell vor. Die Bauteile sind räumlich exakt dargestellt. Die Funktionsweise und Wirkstruktur sind eindeutig erkennbar. Formelemente, welche im Zusammenhang eine untergeordnete Rolle spielen und keinen Einfluss auf die anderen Elemente ausüben, sind u. U. noch nicht in jedem Detail erfasst, sondern erst symbolisiert (z. B. als Hüllelement).
- Produkt-Struktur:
  Im PDM oder CAD ist die Produkt-Struktur vorliegend. Für Varianten, Baugruppen oder Bauteile, welche noch nicht entworfen sind, besteht schon ein Platzhalter. Die Eigenschaften der Bauteile (Material, Lieferant etc.), soweit bekannt, sind erfasst.
- Projektplanung:
  Die Terminplanung ist aktualisiert und die nachfolgenden Prozesse sind geplant.
- Kosten:
  Die aktuelle Kalkulation der Herstellungskosten ist, mit den abgeklärten und aktualisierten Werten ergänzt. Wo noch nicht vorhanden, sind noch die Zielwerte eingetragen.
- Projekt-Dokumentation:
  Alle Modulordner, bzw. die vollständige Projekt-Dokumentation, d. h. Sammlung aller relevanten Unterlagen wie Berechnungen, Lieferantenabsprachen, Offerten, Abklärungen etc., sind geordnet und abgelegt (u. U. im PDM).

10. Zusammenfassung

Der Entwurfsprozess liegt zwischen Konzeptprozess und Dokumentationsprozess. Ein Grossteil der Eigenschaften des Produkts und der Modelle wird im Entwurfsprozess gestaltet und festgelegt. Strategien der Vorgehensweise dienen dazu, diesen komplexen, interaktiven Prozess qualitativ und effizient durchzuführen.

Modulgliederung, Bauraumaufteilung und Konkretisierungsstrategien helfen dabei. Im weiteren bestehen viele Regeln und Richtlinien für das Konstruieren, so dass einfache, eindeutige und sichere Produkte entstehen. Ein wichtiger Aspekt besteht in der Beherrschung und Optimierung der Kräfte innerhalb einer Konstruktion. Verschiedene Methoden, z. B. auch Managementwerkzeuge wie das Projektmanagement, sichern die Einhaltung der Qualität im Bezug auf Funktionalität, Kosten und Zeit.

Verständnisfrage 1

Wo ordnet sich der Entwurfsprozess in den Entwicklungsprozess ein? Womit startet der Entwurfsprozess, welches sind die Ziele und wie sieht der Output aus?

Verständnisfrage 2

Welches sind die wichtigsten Strategien beim Entwerfen? Zählen Sie diese auf und erläutern Sie eine davon genauer.

Verständnisfrage 3

Zeigen Sie die einzelnen Module eines PC's auf und nennen Sie Gründe, wieso dies in diesem konkreten Fall sinnvoll ist.

Verständnisfrage 4

Welche Gründe gibt es dafür, dass Stühle trotz Unbestimmtheit meistens 4 Beine haben?

Verständnisfrage 5

Während einer Schwachstellenanalyse erkennt man die Gefahr, dass ein Kugellager wegen Erwärmung versagt. Eine Massnahme besteht darin, ein grösseres Lager herzustellen.

Wie lautet Ihre kritische Bemerkung zu diesem Entscheid?

Verständnisfrage 6

Eine Welle-Nabe-Verbindung wurde mittels Passfeder gestaltet.

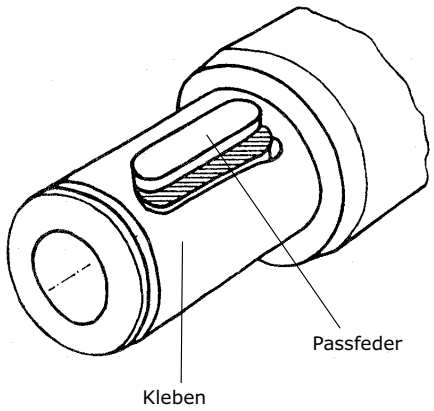


Bild (B999entZ) Eine Welle-Nabe-Verbindung mit Passfeder

Der Entwurf wird auf Schwachstellen und Versagenspotentiale untersucht; die Analyse ergibt, dass diese Verbindung wegen der Belastung der Passfeder kritisch ist.

Eine vorgeschlagene Massnahme ist, Welle und Nabe auf der Umfangsfläche der Welle zusätzlich zu kleben.

Was halten Sie davon?

Verständnisfrage 7

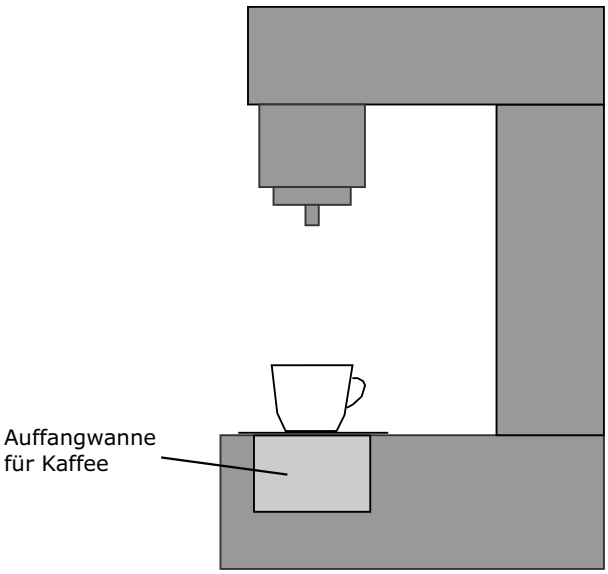


Bild (B916entZ) Kaffeemaschine mit Auffangwanne

Eine neue Kaffeemaschine soll entwickelt werden. Das Konzept sieht vor, dass unter der Tasse eine Auffangwanne für Wasser und Kaffeebrühe entwickelt werden soll.

Die Anforderungsliste legt fest, dass der Füllstand dieser Wanne sicher überwacht und dem Benutzer sichtbar gemacht werden soll. Die gestalterische Lösung dafür ist noch frei.

Suchen Sie eine einfache, kostengünstige Lösung, welche diese Anforderungen erfüllt, skizzieren Sie die Lösung / Lösungsmöglichkeiten.

Verständnisfrage 8

Innerhalb des Kapitels „sicher" wurde das Grenzrisiko als „das grösste, nach zeitgemässem Verständnis noch vertretbare, gesamtheitliche Risiko, das ein System beinhaltet" definiert.

Versuchen Sie zu erklären, wieso hier „nach zeitgemässem Verständnis" steht, und erläutern Sie dies anhand der Sicherheitsaspekte in heutigen und früheren Personenwagen.

Verständnisfrage 9

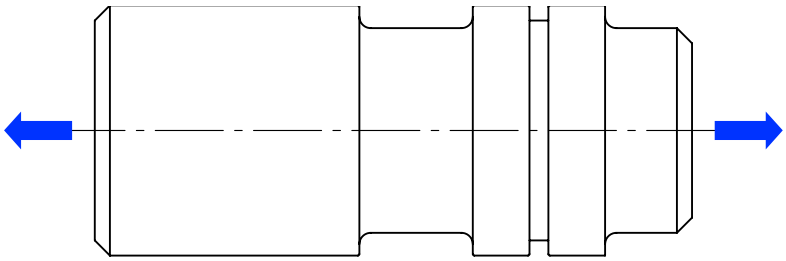


Bild (B923entZ) Eine auf Torsion belastete Welle

Die Welle ist auf Torsion belastet.

Skizzieren Sie den Kraftfluss (Momentfluss) ein!

Verständnisfrage 10

Zeigen Sie in der folgenden Nietverbindung den Kraftfluss einer Zugbeanspruchung.

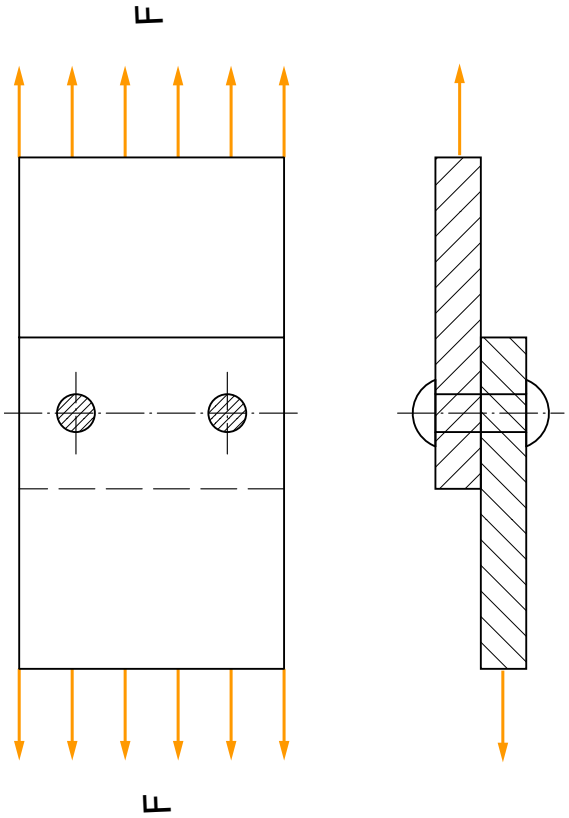


Bild (B073entZ) Nietverbindung

Verständnisfrage 11

In der folgenden Konstruktion wird von der rechten Seite her ein Torsionsmoment auf die untere Welle geleitet.

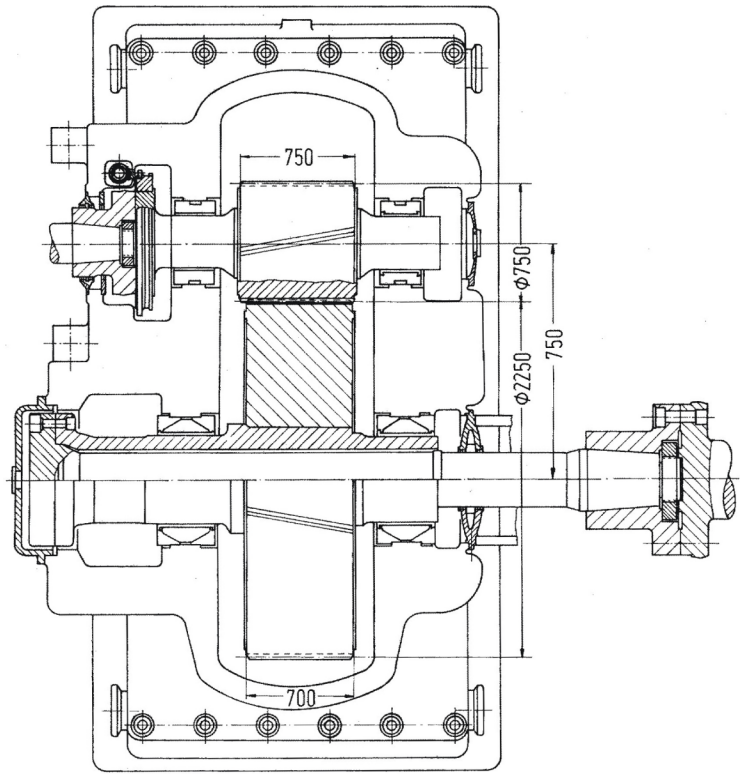


Bild (B921entZ) Konstruktion mit Torsionsmoment [2]

Versuchen Sie die Konstruktion zu verstehen, erklären Sie das Prinzip und zeigen Sie den Kraftfluss durch die Konstruktion und auf die Abgangswelle oben links.

Verständnisfrage 12

Erklären Sie in kurzer Form, was ein Target Costing ist.

Antwort 1

- Der vorausgehende Produktes ist der Konzeptprozess. Dessen Ergebnisse: Prinzipielle Lösung, Prinzipskizzen, Funktionsmuster, Projektplan, Anforderungsliste bilden den Input.
- Das Ziel besteht in der Gestaltung des Projektes und in der Festlegung der meisten Eigenschaften. Oft werden auch Designmodelle und weitere (einfache) Prototypen erstellt, um das Resultat zu verifizieren.
- Der Output besteht im Wesentlichen aus:
  - Produktstruktur, Stückliste
  - massstäblichem Entwurf
  - Teilergebnissen der Verifikation, Modellen, Berechnungen, Simulation
  - Projektplan (Termine, Kosten).

Antwort 2

- Modulgliederung
- Bauraumaufeilung
- von Hauptfunktion zu Nebenfunktion
- von Bekanntem zu Unbekanntem
- von innen nach aussen
- von abhängig zu unabhängig
- von grob zu fein, von abstrakt zu konkret

Details siehe Skript!

Antwort 3

Module:

- Rechner mit Gehäuse, CPU, Graphikkarten, Laufwerke, ...
- Monitor
- Tastatur
- Kabel

Gründe:

- individuelle Konfigurationsmöglichkeit beim Kauf
- Möglichkeit zum Auswechseln von Einheiten, wie z.B. neue Graphikkarte, neuer Monitor
- Entwicklung und Herstellung der Komponenten in unterschiedlichen Werken
- einfache Montage, Demontage
- klare Schnittstellen

Antwort 4

- Damit ein Kippen des Stuhles verhindert werden kann, muss der Schwerpunkt innerhalb der Verbindungslinie der Beine liegen; vier Beine ergeben ein grösseres stabiles Feld.
- aus Symmetriegründen
- aus Designgründen
- aus Akzeptanzgründen

Antwort 5

In der Fehleranalyse sollten wir zu den eigentlichen Ursachen vorstossen. In diesem konkreten Fall könnte das heissen:

- Wieso wird es zu warm?
  - zu grosse Reibung
  - zu grosse Kraft
  - schlechte Wärmeabfuhr.
- Wieso ist die Reibung zu hoch?
  - falsches Schmiermittel.
- Wieso ist die Kraft zu gross?
  - Kräfte besser verteilen.
- Wieso ist die Wärmeabfuhr schlecht?
  - Wärmeleitfähigkeit des umliegenden Materials ungenügend.

Bevor grössere Lager gestaltet werden (höhere Kosten), lohnt es sich demnach, zuerst andere Schmiermittel zu suchen oder eine verbesserte Wärmeleitung zu gestalten.

Antwort 6

Zuerst muss die Ursache für die Schwachstelle gesucht werden.

- Antriebsmoment zu gross, Schläge beim Anlauf; eventuell könnten diese gemildert werden → Lösung hier suchen.
- Falsch dimensionierte Passfederverbindung → neu gestalten.

Bei der Neugestaltung ist eine Verbindung von Kleben und Passfeder nicht eindeutig (trägt die Feder oder die Klebung?) und widerspricht auch sonst sicher den Anforderungen:

- Passfederverbindungen werden für wieder lösbare Wellen-Nebenverbindungen eingesetzt.
- Kleben gehört zu den „nichtlösbaren" Verbindungen.

Somit kommen nur gestalterische Lösungen in Frage.

- Grössere Dimensionen (Durchmesser oder Länge)
- zwei Passfedern
- anderes Material.

Antwort 7

Alle Sensor basierten Lösungen sind wahrscheinlich aufwändig und teuer.

Eine Lösung könnte eine mechanische sein: ein Schwimmer im Behälter zeigt den Füllstand an.

Eine solche Lösung hat Solis realisiert: Ein Schwimmer mit rotem Stift, in der Wanne eingelegt, wird durch das Wasser angehoben und ragt, wenn der Wasserstand zu hoch ist, über die Wannenoberfläche hinaus. Interessant ist auch der Ort des Zapfens, nämlich dort, wo die Tasse hingestellt werden soll. Die Benutzenden werden „sicher" und „eindeutig" auf den vollen Behälter hingewiesen.

Bild (B917entZ) Wasserstandsfühler mittels Schwimmer unterhalb Tasse

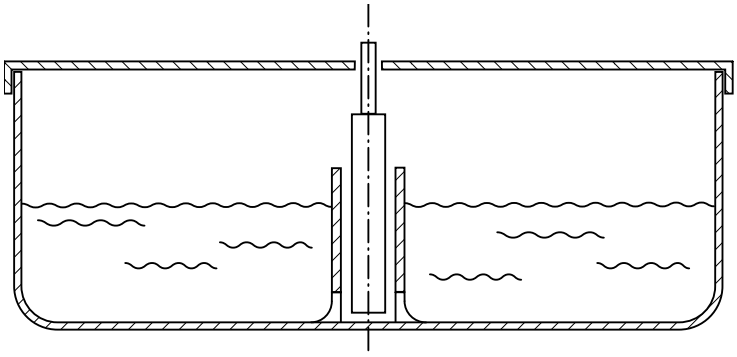


Bild (B918entZ) Auffangwanne mit Schwimmereinrichtung

Antwort 8

Das Verständnis, was Sicherheit ist, hat sich mit der Zeit stark gewandelt.

Noch vor 20 Jahren beinhaltete sicheres Autofahren ein völlig anderes Grenzrisiko als heute. Ausserdem waren auch die Rahmenbedingungen andere: weniger Verkehr, langsamere Fahrzeuge, weniger Hektik! Innerhalb der vergangenen Jahre wurden zuerst die Sicherheitsgurten eingeführt. Dann entstanden verbesserte Knautschzonen, Airbags kamen dazu, zuerst nur vorn auf Fahrerseite, dann beidseitig und neu auch seitlich. Der Sicherheitsgedanken ist weiterhin im Wandel: neue Technologien, wie Abstandssensoren, GPS für die Übermittlung des Unfallortes usw. Jeder dieser Schritte wird unser Selbstverständnis über Grenzrisiken verändern.

Bild (B920entZ) Airbag bei der Entfaltung

Antwort 9

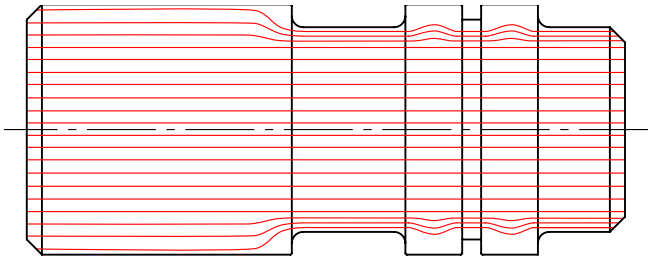


Bild (B924entZ) Kraftfluss in einer Welle

Der Kraftfluss ist im linken Teil schwächer (breiterer Durchfluss) als rechts; in Bezug auf die Spannungen zeigt dies, dass die Spannungen (Schubspannungen infolge Torsion) grösser sind. Bei der Wellenschulter spüren die äusseren Strömungen die brüske Umlenkung und rükken näher zusammen (Kerbwirkung!)

Antwort 10

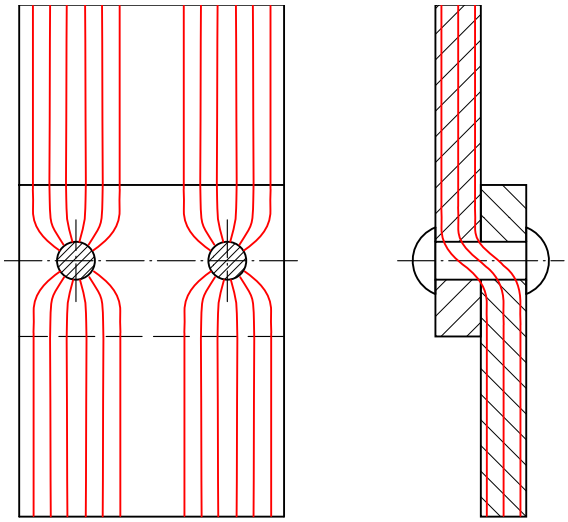


Bild (B919entZ) Kraftfluss bei Zugbeanspruchung

Die Kraftlinien konzentrieren sich in der Blechebene auf die Niete. Senkrecht dazu existiert ebenfalls eine starke Umlenkung.

Antwort 11

Die Antriebswelle ist mit einer starren Kupplung mit der Eintrittswelle verbunden (1). Diese Welle besteht aus einer inneren Vollwelle und einer äusseren Hohlwelle. Diese beiden Wellen sind nur links am Ende miteinander verbunden (2). Die Hohlwelle ist beidseits in der Nähe des grossen Zahnrads gelagert (3). Das grössere Zahnrad (4) überträgt das Torsionsmoment auf das kleinere Zahnrad (5) oben. Beide sind schrägverzahnt. Die obere Welle ist auch zweifach gelagert (6) und links geht das Torsionsmoment über eine Konusverbindung (7).

Der Fluss des Torsionsmoments vom Eintritt über die innere Welle nach links und umgeleitet über die äussere Hohlwelle auf das grosse Zahnrad zum kleinen Rad in die Abgangswelle ist im folgenden Bild dargestellt (rote Pfeile).

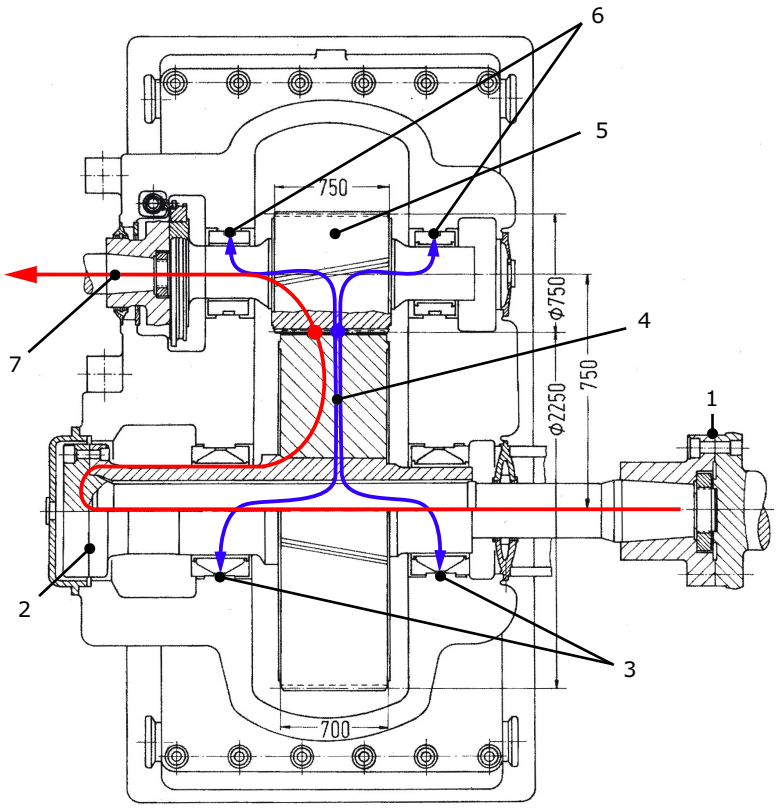


Bild (B922entZ) Der Fluss des Torsionsmoments

- Die Begründung liegt im langen Kraftfluss, der die Antriebswelle weicher gestaltet und somit Schläge mindert.
- Durch die Kraftübertragung des Torsionsmoments über eine Kraft zwischen dem grossen und kleinen Rad ergeben sich auch weitere Kraftflüsse (blau gezeichnet).
- Je eines der Lager muss die axialen Kräfte aufnehmen (Schrägverzahnung). Dies ist in der Konstruktion nicht ersichtlich.
- Man sieht, dass der rechte Teil der oberen Welle kein Torsionsmoment überträgt; demnach könnte dieser Teil schlanker gestaltet werden?

Antwort 12

Target Costing ist eine Methode, die zu verschiedenen Zeitpunkten des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden kann. Ein Schwerpunkt liegt im Entwicklungsprozess selber.

Ausgehend von den zulässigen Kosten des gesamten Produkts (Zielkosten) werden die maximalen Kosten jedes Modells bestimmt und ständig überwacht. Abweichungen erfordern Massnahmen.

Relevante Cases

- „Verbrennungsanlage“
- „Motorhaube“

Publikationsverzeichnis – Literatur

[1] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Carl Hanser Verlag, München 1995

[2] Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre – Handbuch für Studium und Praxis. 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin1993

[3] Birkhofer, H.: Skriptunterlagen der TU-Darmstadt

Publikationsverzeichnis – Weblinks

- Online Project Collaboration

Publikationsverzeichnis – weitere relevante Dokumente

- Checkliste Eindeutigkeit